

JERZY SIWEK, WOJCIECH WACŁAWIK  
Zakład Geoinformatyki, Kartografii i Teledetekcji  
Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego  
jrswiek@uw.edu.pl; leon.wacek@wp.pl

## Czy cieniowanie analityczne może być sztuką? Rozważania na kanwie eksperymentu w programach ArcGIS i Surfer

Zarys treści. Analityczne cieniowanie rzeźby terenu, zapoczątkowane pół wieku temu, mimo wielu prac teoretycznych i eksperymentalnych nie osiągnęło dotychczas jakości cieniowania tradycyjnego (ręcznego). W artykule omówiono zasady i główne czynniki wpływające na efekt cieniowania analitycznego. Podkreślono decydujące znaczenie numerycznego modelu terenu (NMT), w tym jego właściwej generalizacji, jako podstawy cieniowania. Eksperymentalne próby cieniowania w programach ArcGIS i Surfer, mające na celu sprawdzenie możliwości

zawartych w nich algorytmów, pokazały znaczne podobieństwo uzyskanych rezultatów. We wnioskach autorzy próbują odpowiedzieć na pytanie zawarte w tytule artykułu. Ich zdaniem cieniowanie analityczne nie jest sztuką, ponieważ piękna wynikającego z artyzmu i doświadczenia kartografa nie udało się dotychczas osiągnąć za pomocą algorytmicznej formalizacji.

Słowa kluczowe: numeryczny model terenu, cieniowanie analityczne, sztuka w kartografii, programy GIS

### 1. Wprowadzenie

W artykule *Sztuka i nauka w kartografii – dualizm czy jedność?* J. Mościbroda (2001) napisał: „W dyskusjach nad teoretycznymi podstawami kartografii często pojawiał się wątek wzajemnej relacji nauki i sztuki w kartografii” (s. 99). Wśród różnych poglądów na ten temat najbardziej trafny wydaje się reprezentowany m.in. przez E. Imhofa (1977), że kartografia chociaż jest nauką, należy także do sztuki. Argumentem za tym są niektóre mapy – oczywiście ładne mapy. Ich walor artystyczny przejawia się w harmonii grafiki i treści, a odczucie piękna staje się szczególnie bliskie, gdy oglądamy mapy z cieniowaną rzeźbą terenu, których kunszt przywołuje niekiedy malarskie dokonania mistrzów włoskiego baroku (J. Siwek 1998, 2000).

Cieniowanie było rozciągniętym w czasie procesem na drodze poszukiwań poglądowego przedstawiania rzeźby terenu. Pierwsze próby poczynił Leonardo da Vinci w latach 1502 i 1503 na mapie Toskanii; później widzimy je na mapach kantonu zurychskiego (*Karte des Zürichgau*s) w skali około 1:56 000 Josta Murera

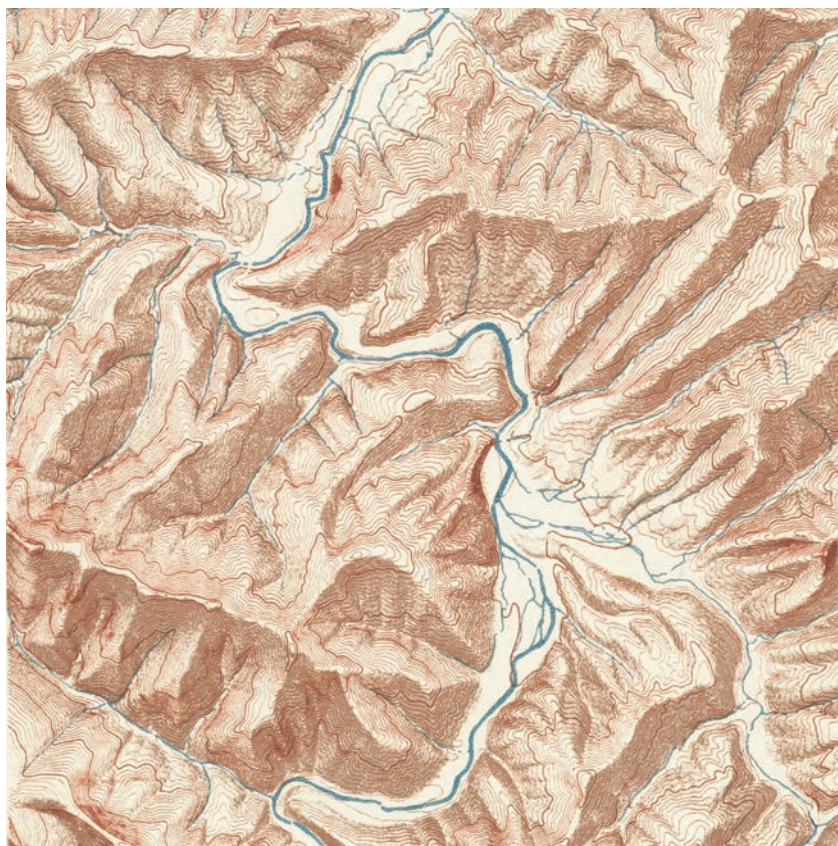
(1566) i Bawarii (*Bayerische Landtafeln*) około 1:144 000 Filipa Apiana (1568), a sto lat później ponownie na mapie kantonu zurychskiego (*Grosse Landtafel des Zürcher Gebiets*) około 1:32 000 Hansa C. Gygera (1667), gdzie po raz pierwszy rzeźbę terenu pokazano w rzucie poziomym, łącząc cieniowanie z naturalistycznymi barwami (E. Imhof 2007); w XVIII wieku cieniowanie pojawiało się na mapach rysowanych ręcznie. Jak pisze S. Pietkiewicz (1930, s. 13), „... naprawdę sprawa ruszyła z miejsca dopiero po wynalezieniu kredki litograficznej, która pozwoliła wykonać rysunek o efekcie podobnym do kreskowego w czasie dwudziestokrotnie krótszym!”. Dzięki temu w trzeciej ćwierci XIX wieku cieniowanie stało się sposobem konkurencyjnym dla kreskowania w oświetleniu ukośnym. Jest zaskakujące, jak szybko opracowano sformalizowane zasady cieniowania. Już w 1878 roku H. Wiechel podał formułę pozwalającą na określenie stopnia oświetlenia dowolnej powierzchni topograficznej w zależności od nachylenia zbocza i jego azymutu wyznaczonego przebiegiem poziomym. Do swoich rozważań przyjął stały kąt oświetlenia przez

wiązkę promieni biegnących z północnego zachodu pod kątem  $45^\circ$  w stosunku do płaszczyzny poziomej. W czasach cieniowania ręcznego praktyczne stosowanie reguły Wiechela, nawet za pomocą nomogramu opracowanego przez autora, było bardzo trudne. Powrócił do niej dopiero P. Yoëli (1965, 1967), podejmując prace nad cieniowaniem analitycznym opartym na numerycznym modelu rzeźby terenu.

W. Pawlak (1979, s. 25) określa cieniowanie „jako powierzchniowo ciągłe przedstawienie ukształtowania pionowego, zrzutowanego ortogonalnie na płaszczyznę poziomą, wyrażone w postaci zróżnicowanego natężenia światła, wynikającego z przyjętych warunków oświetlenia powierzchni rzeczywistej”. Tradycyjne cieniowanie jest czynnością wymagającą od kartografa zdolności przestrzennego widzenia i umiejętności wyrażenia tego w sposób gra-

ficzny, a przy tym pracochłonną (choć nie tak jak dawniej kreskowanie), więc gdy tylko powstały możliwości technologiczne, zostało zautomatyzowane. Już w 1981 roku B.K.P. Horn wyraził opinię, że cieniowanie komputerowe znalazło się na dojrzałym etapie rozwoju. Mimo że od tamtego czasu upłynęło ponad 30 lat, nie osiągnęło ono jednak poziomu cieniowania ręcznego.

Procedura cieniowania tradycyjnego jest zwykle prosta (nie należy tego utożsamiać z łatwością samego cieniowania, którego wykonanie wymaga wyjątkowych zdolności), zwłaszcza na mapach topograficznych. Bezpośrednią podstawę cieniowania stanowi rysunek poziomicowy, a na mapach w mniejszych skalach, obejmujących duży obszar, dochodzi ponadto znajomość genezy rzeźby oraz związanych z genezą charakterystycznych jej typów



Ryc. 1. Cieniowanie mapy topograficznej Polski 1:100 000, fragment arkusza P-55, S-39 Mikuliczyn (Katalog map, Wojskowy Instytut Geograficzny 1938, Warszawa)

i form. Warunkiem wysokiej jakości cieniowania były zawsze predyspozycje kartografa i doświadczenie zdobywane przez lata praktyki. Podpowiadały mu one najlepsze rozwiązania w konkretnych sytuacjach topograficznych, o czym przekonują nas liczne przykłady, z których jeden bardzo udany przedstawia rycina 1.

## 2. Numeryczny model terenu

Zastąpienie cieniowania tradycyjnego analitycznym wymagało sformalizowania procedury jego wykonywania. Kanwą stał się numeryczny model terenu (NMT), do utworzenia którego wykorzystuje się zdjęcia lotnicze i satelitarne, skaniny laserowe oraz mapy topograficzne. Cieniowany obraz rzeźby powstaje w wyniku przetworzenia modelu polegającego na obliczeniu wartości odbicia światła od jego powierzchni. Na temat numerycznego modelu terenu istnieje obfita literatura polska<sup>1</sup> i zagraniczna, więc problematykę tę ograniczymy do niezbędnego minimum, koniecznego do zrozumienia wpływu modelu na rezultat cieniowania.

Przyjmuje się, że numeryczny model terenu jest zbiorem punktów o dokładnie określonym położeniu i wysokości, reprezentujących fizyczną powierzchnię terenu (Z. Kurczyński 2015), a ujmując ściślej: „Numeryczny Model Rzeźby Terenu jest numeryczną dyskretną (punktową) reprezentacją wysokości topograficznej powierzchni terenu, wraz z algorytmem interpolacyjnym umożliwiającym odtworzenie jej kształtu w określonym obszarze” (Z. Kurczyński, R. Preuss 2003, s. 301). W definicji tej autorzy zwracają uwagę nie tylko na cyfrowy zapis powierzchni terenu zachowujący relacje topologiczne między punktami wysokościowymi, lecz również na algorytm służący jej odtworzeniu. Jest to niezwykle istotne, ponieważ „odczytanie” powierzchni terenu reprezentowanej przez trójwymiarowy model pozwala na wykonywanie analiz kartometrycznych rzeźby, a także wpływa na rezultat cieniowania. Stąd celowe jest rozważenie właściwości takiego modelu, oddziałują one bowiem na dystrybucję światła przy przekształcaniu go w obraz cieniowany.

Jakość numerycznego modelu terenu, a więc wierność odtworzenia za jego pomocą powierzchni terenu, zależy od struktury modelu i metod aproksymacji (D. Kładoczny, W. Żyszkowska 1995). Wpływa na to szereg czynników: sposób zbierania i gęstość danych źródłowych, wielkość piksela obrazu rastrowego i metoda interpolacji (P. Hu, X. Liu, H. Hu 2009). Metody interpolacji powinny być dopasowane do charakteru danych i cech terenu, a niewłaściwy ich dobór może wpłynąć na jakość modelu (M. Wieczorek, M. Szymanowski 2010). W systemach komputerowych stosowane są najczęściej dwa rodzaje modeli nazywane skrótowo TIN i GRID, a rzadziej model hybrydowy.

Model triangulacyjny (TIN – Triangular Irregular Network) jest utworzony przez nieregularną sieć trójkątów, których wierzchołki pokrywają się z punktami wysokościowymi. Punkty te powinny być tak rozmieszczone, aby uwzględniały miejsca istotne dla rzeźby terenu, m.in. linie szkieletowe, lokalne ekstrema wysokościowe, miejsca zmiany spadku, linie ciągłości (skarpy, urwiska). Zaletą organizacji danych w modelu TIN jest zachowanie dokładnego położenia tych punktów. Przy konstrukcji modelu powinien być spełniony warunek Delaunay’a, tzn. wewnątrz okręgu zbudowanego na wierzchołkach trójkąta nie mogą znajdować się punkty interpolacyjne. Powierzchnia modelu staje się tym gładzsza (bliższa powierzchni rzeczywistej), im więcej trójkątów ją tworzy.

Model rastrowy (GRID) jest oparty na regularnie rozmieszczonych punktach wysokościowych. Są one rezultatem interpolacji między punktami pomiarowymi modelu TIN, co sprawia, że aproksymacja powierzchni terenu jest mniej dokładna. Mamy tu do czynienia z zapisem powierzchni jako macierzy punktów rozmieszczonych w regularnych polach, najczęściej w siatce kwadratów. Zaletą tego rozwiązania jest łatwość zapisu danych i obliczania podstawowych charakterystyk morfometrycznych, natomiast wadą nadmiar informacji – szczególnie na terenach równinnych, niewymagających równie gęstej reprezentacji punktowej jak obszary o urozmaiconej rzeźbie terenu, a co za tym idzie absorbowanie większej ilości pamięci niż w modelu TIN (M. Kochman, R. Olszewski 2005; D. Gotlib, R. Olszewski, M. Kochman 2005). Ten sposób organizacji danych cechuje m.in. otwarte modele SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) i ASTER (Advanced

<sup>1</sup> Polskie piśmiennictwo na temat numerycznych modeli terenu zebrał J. Ostrowski (2010) w materiałach XIX Szkoły Kartograficznej. Zestawienie zawiera 188 pozycji opublikowanych od końca lat sześćdziesiątych XX wieku do roku 2010.

Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer).

Model hybrydowy – to połączenie dwóch poprzednich typów; składa się z sieci regularnych punktów oraz ważnych dla rzeźby terenu punktów i linii pominiętych w modelu GRID. Jego przykładem jest model ASCII<sup>2</sup> TBD wykorzystywany przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Warszawie.

Praktyka pokazuje, że najczęściej stosowanym modelem rzeźby terenu jest model typu GRID, oparty – o czym należy pamiętać – na wartościach interpolowanych, a nie pomiarowych. Jego szczegółowość zależy od rozdzielczości wynikającej z wielkości pola podstawowego. Zbyt duże pola gubią małe formy terenu, rozmývają krawędzie, zmieniają spadki, co jest skutkiem wyznaczenia wysokości punktów budujących model poprzez interpolację.

Przy przechodzeniu z modelu TIN do modelu GRID każdy punkt otrzymuje w wyniku interpolacji wysokość przybliżoną. Nawet jeśli te wartości mieszczą się w przyjętych granicach błędu nie oznacza to, że rzeczywiste relacje ich wysokości zostaną zawsze zachowane. W przypadku modeli o konkretnym przeznaczeniu istotne jest również następstwo wysokości odpowiadające sekwencji obserwowanej w terenie. Na przykład w modelach hydrologicznych jest to konieczne do wyznaczenia prawidłowego kierunku spływu wody (X. Liu i in. 2015).

Numeryczny model terenu – jak każdy model – jest uogólnieniem rzeczywistości i aby dobrze ją reprezentował musi odzwierciedlać istotne cechy rzeźby terenu. Powinien temu służyć wybór charakterystycznych punktów wysokościowych, o czym była mowa przy omawianiu modelu TIN. W literaturze, przy ocenie metod opracowania NMT skupiano się dotychczas głównie na dokładności wysokościowej, mniej zajmując się problemami związanymi z odzwierciedleniem struktury terenu, a więc właściwym doбором punktów, ich izomorfizmem (szczególnie właściwymi relacjami wysokościowymi) oraz generalizacją. Upowszechnienie danych o wysokiej dokładności pochodzących ze skaningu laserowego LiDAR (Light Detection and Ranging) pozwoli prze-

nieść ciężar badań na te właśnie „zaniedbane” zagadnienia (X. Liu i in. 2015).

Trudno oprzeć się wrażeniu, że dyskusja nad właściwą postacią numerycznego modelu terenu jest w pewnej mierze powrotem do przeszłości. Dobór punktów wysokościowych to przecież podstawowy problem zdjęcia stolikowego, dawno już rozwiązany (stolika topograficznego zaczęto używać w pierwszej połowie XVII wieku). Generalizacja poziomicowego obrazu rzeźby terenu doświadczonym kartografom również nie sprawia dużego problemu. Dyskusja na te tematy odżyła jednak, kiedy stare reguły przyszło realizować za pomocą nowych narzędzi. Ta adaptacja dotyczy nie tylko rzeźby, ale opracowania – w tym generalizacji – wszystkich elementów treści map. Redagowanie map jeszcze do niedawna opierające się na wiedzy, doświadczeniu, a niekiedy także intuicji kartografa, wymaga teraz algorytmizacji, a więc „przetłumaczenia na język komputera” tradycyjnie wypracowanych reguł, co nie zawsze przynosi satysfakcjonujące rezultaty.

### 3. Generalizacja numerycznego modelu rzeźby terenu

Numeryczny model rzeźby terenu może być generalizowany na różnych poziomach szczegółowości, począwszy od generalizacji danych źródłowych, z zastosowaniem różnych sposobów algorytmizacji tego procesu. Generalizacja NMT polega na uogólnieniu modelu będącego zbiorem punktów wysokościowych i różni się zasadniczo od generalizacji klasycznej, polegającej na uogólnieniu obrazu poziomicowego (R. Olszewski 2005). Podobnie jak tradycyjna generalizacja jest to proces złożony, niepodający się w pełni automatyzacji. Na tym przykładzie dostrzegamy aktualność dwóch z trzech „ra” E. Sydowa: przedstawienia rzeźby terenu i generalizacji – głównych problemów kartografii dostrzeżonych już półtora wieku temu. W tym przypadku dwie rały spotykają się, co świadczy o trudności zadania.

Generalizacja NMT może być prowadzona za pomocą trzech metod: filtracji globalnej, filtracji lokalnej oraz z zastosowaniem podejścia heurystycznego (R. Weibel 1992). Filtracja globalna, stosowana tylko w modelu rastrowym typu GRID, zachowuje stałą liczbę punktów modelu wyjściowego, powodując zmianę ich wartości (wysokości), obliczanej w rucho-

<sup>2</sup> ASCII (American Standard Code for Information Interchange) – format dla danych pomiarowych NMT.

mym polu o przyjętej wielkości jako średniej ważonej wartości punktów położonych w tym polu (oczku siatki). Do filtracji używa się trzech rodzajów filtrów numerycznych: dolnoprzepustowego – przeznaczonego do wygładzania modelu, górnoprzepustowego – wzmacniającego krawędzie i złożonego – łączącego funkcjonalność dwóch pierwszych filtrów. Filtracja lokalna (dla małych zbiorów) polega na selekcji punktów modelu źródłowego; może być stosowana zarówno w modelu TIN jak i GRID. Podczas filtracji z modelu źródłowego zostają usunięte punkty mało istotne, a pozostawione charakterystyczne, ważne dla wyznaczania form terenu. Punktom należy przypisać wagi odpowiednie do ich znaczenia. Podejście heurystyczne, możliwe do stosowania w modelach TIN i GRID, opiera się na interaktywnej współpracy operatora z programem komputerowym. Istotą tego rodzaju generalizacji jest uogólnienie linii strukturalnych w modelu źródłowym poprzez ich usuwanie, łączenie, upraszczanie i inne operacje stosowane w generalizacji klasycznej (R. Olszewski 2005; R. Olszewski, A. Żyła 2004).

Filtracja modelu źródłowego służy nie tylko generalizacji, ale także redukowaniu jego niedoskonałości. Jest to konieczne w przypadku modelu opartego na danych teledetekcyjnych, zawierających wiele punktów o błędnych wysokościach.

Istotnym problemem generalizacji NMT przez filtrowanie jest niebezpieczeństwo utraty ważnych dla rzeźby terenu punktów wysokościowych. Zachodzące w trakcie generalizacji powiększanie komórek rastra skutkuje stopniowym uśrednieniem ich wysokości i wygładzaniem powierzchni, co prowadzi do zmian morfometrycznych cech rzeźby. W największym stopniu dotyczy to terenów o urozmaiconej rzeźbie terenu, szczególnie wysokogórskiej (R. Olszewski 2006). Proste uśrednianie wysokości komórek deformuje formy terenu i powinno być zastąpione obliczaniem średniej wysokości ważonej z punktów poddanych

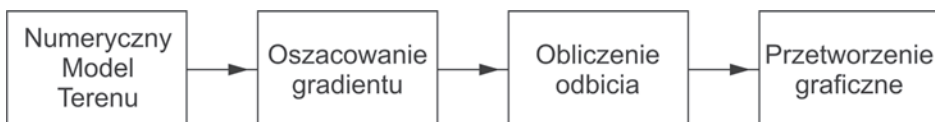
wcześniej rangowaniu, podczas którego punkty otrzymują rangi odpowiadające ich znaczeniu dla rzeźby terenu.

Źródłem danych o bardzo dużej dokładności jest od lat dziewięćdziesiątych XX wieku skanowanie laserowe. Niespotykana wcześniej gęstość punktów pomiarowych sprawia, że szczegółowość uzyskanego na tej podstawie obrazu przekracza potrzeby wielu grup użytkowników (przy wysokości lotu 1000 m – 5 punktów na 1 m<sup>2</sup>, a przy wysokości 400 m – 25 punktów na 1 m<sup>2</sup>; J. Kolejka, M. Tejkał 2010), który ponadto jest trudny do interpretacji (T. Pingel, K. Clarke 2014). Taka sytuacja ma miejsce, gdy chcemy przygotować numeryczny model terenu jako podstawę cieniowania. Przed opracowaniem modelu konieczna jest wtedy generalizacja poprzez znaczną redukcję liczby punktów (X. Liu i in. 2015). W przeciwnym razie wielka szczegółowość modelu byłaby przeszkodą w uzyskaniu pogładowego cieniowania.

#### 4. Zasady cieniowania na podstawie numerycznego modelu terenu

Z punktu widzenia użytkownika cieniowanie analityczne wykonywane na podstawie NMT stało się znacznie łatwiejsze niż tradycyjne, jednak skomplikowało się patrząc od strony proceduralnej. Cieniowanie wykonywane dawniej bezpośrednio na rysunku poziomicowym, jest obecnie rozłożone na wiele etapów (ryc. 2), a ocena przydatności modelu numerycznego jest dosyć trudna, w przeciwieństwie do oceny jakości rysunku rzeźby poziomicowej.

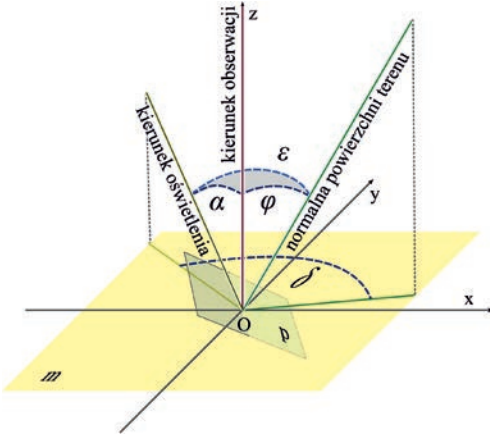
Numeryczny model terenu będący podstawą automatycznego cieniowania powinien mieć szczegółowość (rozdzielczość) odpowiednią do skali mapy, na której ma się znaleźć cieniowany obraz rzeźby terenu. Dawniej ten związek był oczywisty, obecnie jednak należy o tym przypominać, ponieważ niejednokrotnie cieniowanie jest niedopasowane, zbyt szczegółowe w stosunku do skali, co wskazuje, że pochodzi z modelu niezgeneralizowanego, być może



Ryc. 2. Schemat procesu automatycznego (numerycznego) cieniowania wg B.K.P. Horna (1981)

nawet źródłowego. Łatwo się o tym przekonać obserwując na mapach duże różnice między poziomym a cieniowanym obrazem rzeźby.

Cieniowanie analityczne polega na „pomiarze” światła odbitego od powierzchni NMT i obliczeniu na tej podstawie stopnia szarości jej części składowych. Schemat takiego procesu przedstawia rycina 3.



Ryc. 3. Zależności geometryczne odbicia światła:

- $m$  – płaszczyzna pozioma,
- $p$  – płaszczyzna styczna do powierzchni terenu w punkcie  $O$  odpowiadająca pikselowi, w którym jest obliczane natężenie szarości (cienia),
- $\alpha$  – kąt zenitalny pomiędzy kierunkiem obserwacji i kierunkiem oświetlenia,
- $\varphi$  – spadek odpowiadający kątowi między obserwatorem a normalną powierzchni,
- $\varepsilon$  – kątem między normalną powierzchni a kierunkiem oświetlenia,
- $\delta$  – kąt między normalną powierzchni a kierunkiem oświetlenia

W algorytmie cieniowania są parametry stałe (przyjęte arbitralnie) – położenie hipotetycznego źródła światła określone poziomą – oraz wartości zmienne wynikające z orientacji form terenu. Powierzchnia tych form utworzonych za pomocą NMT składa się z komórek rastra, w których indywidualnie obliczana jest intensywność szarości cienia. Na przykład w programie ArcGIS (*How Hillshade Works*) algorytm służący takiemu obliczeniu w 8-bitowej skali szarości (256 odcieni) ma następującą postać:

$$\text{Hillshade} = 255.0 * ((\cos(\text{Zenith\_rad}) * \cos(\text{Slope\_rad}) + (\sin(\text{Zenith\_rad}) * \sin(\text{Slope\_rad}) * \cos(\text{Azimuth\_rad} - \text{Aspect\_rad}))) \quad (1)$$

Formuła ta bazuje na powierzchni idealnie rozpraszającej światło, tzw. powierzchni Lamberta, gdzie dystrybucja światła jest taka jak w teorii H. Wiechela. Oznacza to, że intensywność szarości cienia w wybranym punkcie jest proporcjonalne do cosinusa kąta zawartego między promieniem światła a normalną elementarnej powierzchni (komórki), na której znajduje się ten punkt. Na rycinie 3 jest to kąt  $\varepsilon$  w trójkącie sferycznym, którego obliczenie wynika z uproszczenia wzoru (1):

$$\cos \varepsilon = \cos \alpha \cos \varphi + \sin \alpha \sin \varphi \cos \delta \quad (2)$$

Tak więc:

$$\text{natężenie cienia} = 255.0 \cos \varepsilon \quad (3)$$

Do automatycznego obliczenia wartości cienia w każdej komórce modelu rastrowego należy wziąć pod uwagę wysokości terenu w komórkach sąsiednich – co najmniej czterech, a najczęściej w ośmiu (ryc. 4). Na tej

$Z_{-+}$	$Z_{0+}$	$Z_{++}$
$Z_{-0}$	$Z_{00}$	$Z_{+0}$
$Z_{--}$	$Z_{0-}$	$Z_{+-}$

Ryc. 4. Symboliczny zapis macierzy umieszczony w komórkach objętych obliczeniami natężenia cienia komórki centralnej (B.K.P. Horn 1981)

podstawie obliczany jest spadek i ekspozycja. Operacja ta jest wykonywana dla wszystkich pól modelu, traktowanych kolejno jako centralne, stąd nosi ona nazwę metody ruchomego okna. Warto przypomnieć, że metoda ruchomego okna, zwana niekiedy metodą pełzającego krążka, stosowana jest w „kartografii klasycznej” od blisko 50 lat (W.A. Czerwiakow, W.I. Czerwiakowa 1970).

Algorytm funkcjonujący w programie ArcGIS formalizuje jeden z wielu sposobów cieniowania, jednak wszystkie opierają się na obliczeniu odbicia światła od powierzchni numerycznego modelu terenu, w wyniku czego powstaje tzw. mapa odbicia (*reflectance map*) przekształcana następnie w cieniowanie. Spośród wielu opracowań poświęconych tej problematyce najczęściej wymieniany jest artykuł B.K.P. Homa (1981) zawierający omówienie osiemnastu sposobów obliczania odbicia.

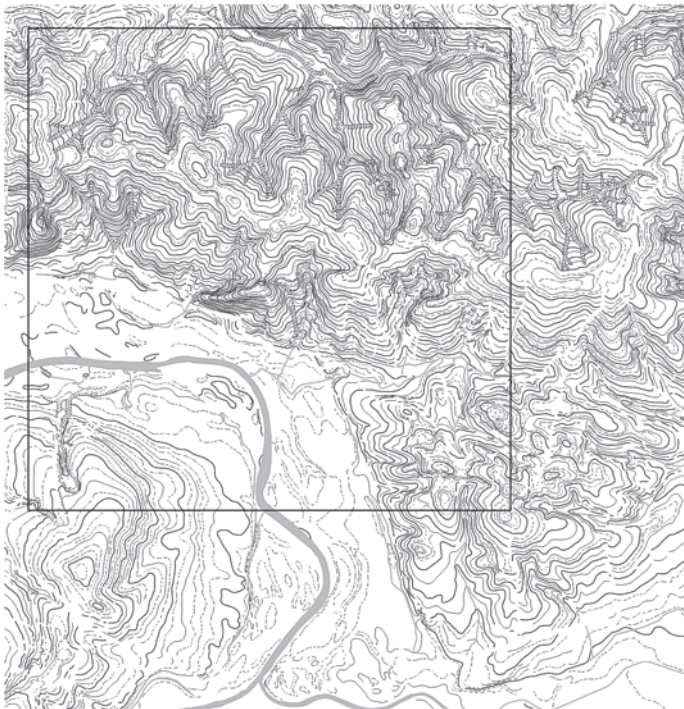
## 5. Cieniowanie analityczne w programach ArcGIS i Surfer

Do przeprowadzenia prób cieniowania analitycznego w docelowej skali 1:50 000 wybrano obszar położony w makroregionie Pogórze Karpackie, objęty arkuszem mapy topograficznej w skali 1:10 000 M-34-79-D-b-4 Jasło – os. Ulaszowice. Jest to teren górzysy

z rzeźbą terenu „podatną na cieniowanie” (ryc. 5).

Jako źródło danych do cieniowania wzięto pod uwagę urzędowe dane pomiarowe NMT znajdujące się w Centralnym Ośrodku Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Warszawie (<http://www.codgik.gov.pl/>) oraz powszechnie dostępne modele satelitarne.

Ocena danych urzędowych w formacie ASCII TBD dla wybranego arkusza doprowadziła do stwierdzenia ich nieprzydatności na potrzeby cieniowania. Główną przyczyną była duża niedokładność na obszarach leśnych, gdzie wysokości powierzchni terenu pozyskano fotogrametrycznie jedynie w prześwitach i przesiekach (co wiadomo dzięki dołączonej specyfikacji technicznej). Na podstawie znajdujących się tu punktów pomiarowych, często bardzo od siebie odległych, interpolowano liniowo wysokości terenu na całym obszarze lasów w odniesieniu do regularnej siatki punktów (GRID). Spowodowało to utrwalenie zdeformowanej



Ryc. 5. Rzeźba terenu na arkuszu mapy 1:10 000 zmniejszonym do skali 1:50 000 z oznaczeniem obszaru testowego pokazanego na rycinach 6–11. Poziomice zasadnicze co 10 m, pomocnicze co 5 m, uzupełniające co 2,5; deniwelacja na obszarze testowym wynosi 121 m

rzeźby terenu i uniemożliwiło uzupełnienie modelu z innych źródeł bez usuwania tych punktów.

Nieprzydatne okazały się również otwarte ogólnosiwiatowe modele SRTM i ASTER GDEM (Global Digital Elevation Model) oparte na danych satelitarnych, których szczegółowość (rozdzielczość) odpowiada mapom przeglądowym a nie topograficznym, a ponadto nie zawierają korekty ze względu na wysokość roślinności i budynków (K. Jancewicz, J. Krupski 2012; P. Śleszyński 2009; J. Nita i in. 2007).

Wobec ułomności danych pozyskiwanych technikami teledetekcyjnymi, najlepszym źródłem danych przydatnych do utworzenia numerycznego modelu rzeźby terenu na potrzeby cieniowania jest mapa topograficzna (J. Nita i in. 2007, Z. Kurczyński 2015). Szczegółowe dane wysokościowe otrzymano za pomocą digitalizacji w programie ArcGIS rysunku poziomicowego oraz elementów rzeźby terenu niezbędnych do jej prawidłowego przedstawienia: cieków, grzbietów, skarp itp. (ryc. 5). Wyobrażenie o nakładzie wykonanej pracy pokazuje zestawienie obiektów składających się na model TIN, dających łącznie 52 017 punktów<sup>3</sup>:

- 2 499 odcinków poziomic (łączna długość terenu 767 453 m),
- 88 linii cieków (68 130 m),
- 173 linie grzbietów (25 215 m),
- 119 skarp (50 411 m),
- 96 kot,
- 695 dodatkowych punktów w miejscach wymagających korekty.

Do sprawdzenia efektów cieniowania analitycznego wykorzystano programy ArcGIS 10 (*How Hillshade Works*) i Surfer 10 ([www.goldensoftware.com](http://www.goldensoftware.com)). Na podstawie danych uzyskanych za pomocą digitalizacji utworzono model TIN, następnie przekonwertowany do formatu GRID. Transformacji dokonano za pomocą rozszerzenia 3D Analyst, co zwiększyło dosyć skromny zakres łatwo dostępnych wariantów cieniowania w pakiecie ArcGIS 10. Program ten ma jeden opcjonalny algorytm cieniowania, w ramach którego można dobierać tylko parametry oświetlenia i współczynnik przewyższenia. Inne funkcje poszerzające możliwości cieniowania są umieszczone w różnych segmentach tego obszernego programu, niezwią-

zanych z cieniowaniem, co znacznie utrudnia ich wykorzystanie. Dużo szersze możliwości w tym zakresie daje Surfer 10, który jest programem specjalistycznym, o prostszym dostępie do funkcji związanych z cieniowaniem. Pozwala to na znaczną ingerencję w proces cieniowania, np. przez dobieranie parametrów algorytmu do obliczania składowych gradientu w NMT i wybór jednego z czterech algorytmów cieniowania.

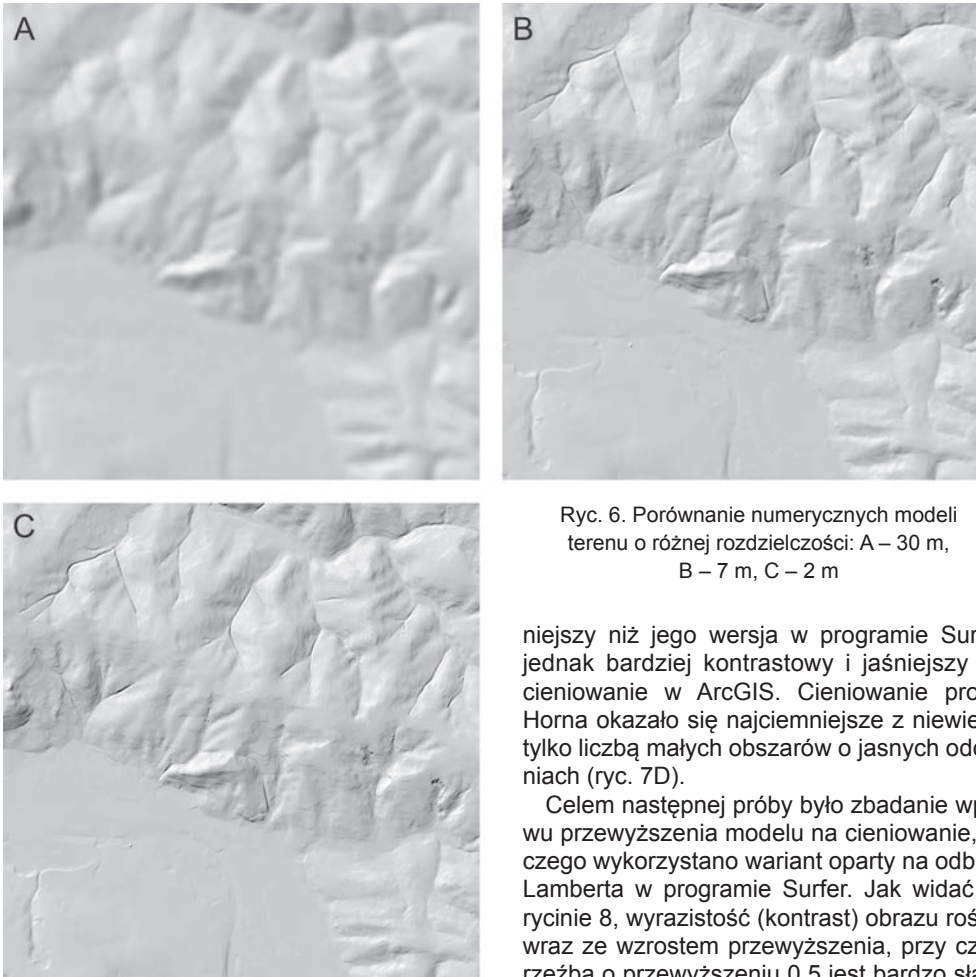
Chcąc porównać możliwości obu programów i ocenić efekty cieniowania sprawdzono ponad 50 wariantów z zastosowaniem różnych parametrów. Najważniejszym zadaniem było określenie rozdzielczości modelu, jako podstawowego warunku dobrego cieniowania. Wizualizacja i porównanie pięciu modeli o różnej rozdzielczości – od 30 do 2 metrów – skłoniło do przyjęcia wariantu 7-metrowego jako kompromisu między rozmyciem obrazu a jego nadmierną szczegółowością (ryc. 6). Piksel o tej rozdzielczości terenowej odpowiada wymiarom  $0,14 \times 0,14$  mm w skali 1:50 000. To wartość pośrednia między 0,1 mm – bliską teoretycznej granicy percepcyjnej, a 0,2 mm – wartością zbliżoną do praktycznej możliwości postrzegania.

Zbadano również wpływ kierunku oświetlenia i wysokości źródła światła na obraz rzeźby w celu przyjęcia optymalnych wariantów dla eksperymentalnego obszaru. Spośród ośmiu kierunków odpowiadających azymutem od  $180^\circ$  do  $360^\circ$  wybrano kąt  $315^\circ$ . Standardowe oświetlenie z północnego zachodu okazało się więc na tym terenie najlepsze. Wybór kąta pionowego  $45^\circ$  dla wysokości padania umownych promieni światła również był rozwiązaniem tradycyjnym (a w programach komputerowych domyślnym), odpowiednim dla terenu górzystego (przy małych formach optymalny jest kąt mniejszy). Oba parametry zostały przyjęte jako „wspólny mianownik” do dalszych prób cieniowania.

Po tych ustaleniach wykonano cieniowanie, stosując algorytm programu ArcGIS oparty na odbiciu od powierzchni Lamberta (Lambertian surface) oraz cztery algorytmy Surfera: odbicie Lamberta (ponownie), aproksymację Peuckera (uproszczenie odbicia Lamberta), prawo Lommel-Seeliger (odbicie światła od powierzchni porowatej) i uproszczony algorytm Horna. Rezultaty uzyskane za pomocą tych algorytmów wskazują, że przyjęcie różnych założeń opisu-

<sup>3</sup> Dane odnoszą się do całego arkusza mapy topograficznej 1:10 000 M-34-79-D-b-4 Jasło – os. Ulaszowice.





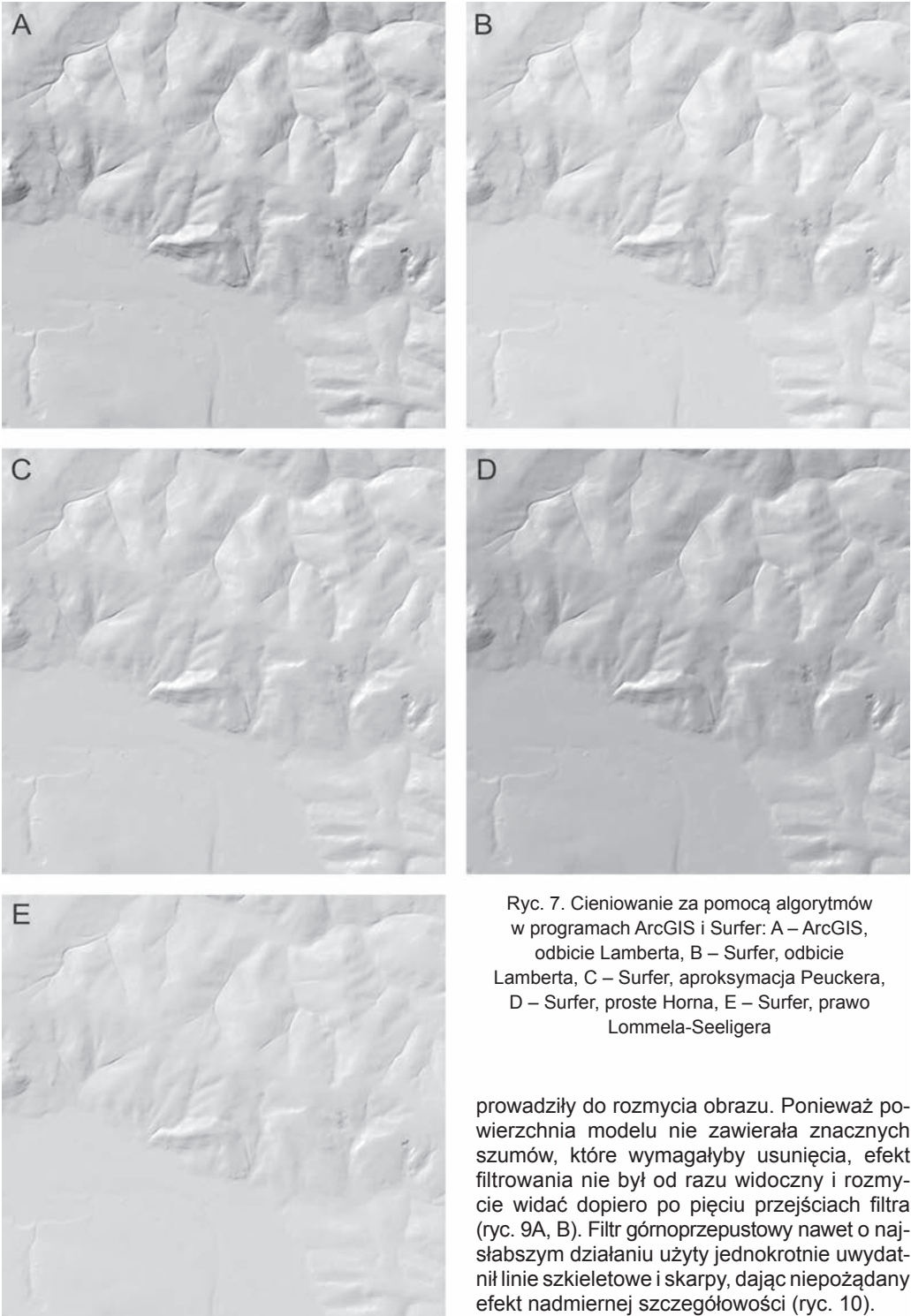
Ryc. 6. Porównanie numerycznych modeli terenu o różnej rozdzielczości: A – 30 m, B – 7 m, C – 2 m

jących sposób odbicia światła od powierzchni terenu oddziałuje najbardziej na jasność i kontrastowość obrazu, a więc na jego percepcję, nie ma natomiast wpływu na przedstawienie geometrycznych cech rzeźby. Cieniowanie wykorzystujące odbicie Lommel-Seeligera okazało się być najjaśniejsze (ryc. 7E), a w konsekwencji niezbyt kontrastowe i mało wyraziste. Odbicie od powierzchni idealnie rozpraszającej Lamberta dało w programie ArcGIS cieniowanie mocno kontrastowe (ryc. 7A) i znacznie ciemniejsze niż w Surferze (ryc. 7B). Mimo tej różnicy są to najbardziej do siebie zbliżone obrazy. Jak przypuszczano, cieniowanie oparte na aproksymacji Peuckera (ryc. 7C) dało efekt bardzo podobny do odbicia Lamberta – ciem-

niejszy niż jego wersja w programie Surfer, jednak bardziej kontrastowy i jaśniejszy niż cieniowanie w ArcGIS. Cieniowanie proste Horna okazało się najciemniejsze z niewielką tylko liczbą małych obszarów o jasnych odcieniach (ryc. 7D).

Celem następnej próby było zbadanie wpływu przewyższenia modelu na cieniowanie, do czego wykorzystano wariant oparty na odbiciu Lamberta w programie Surfer. Jak widać na rycinie 8, wyrazistość (kontrast) obrazu rośnie wraz ze wzrostem przewyższenia, przy czym rzeźba o przewyższeniu 0,5 jest bardzo słabo czytelna (ryc. 8A), natomiast współczynniki większe od 1 sprawiają, że staje się ona znacznie lepiej wyrazista (ryc. 8C,D). Stosowanie zbyt dużego przewyższenia może zniekształcać obraz rzeźby, zmieniając jej charakter. Jest tu pewna analogia do blokdiagramu i profilu topograficznego, gdzie nadmierne przewyższenie (zbyt duża skala pionowa) daje podobny rezultat.

Ostatni z przeprowadzonych eksperymentów polegał na zbadaniu wpływu filtrowania modelu, a więc wpływu generalizacji na efekt cieniowania (patrz rozdz. 3). Użyto w tym celu filtrów dolno- i górnoprzepustowych, a także zastosowano różne wielkości pól filtrujących i różną liczbę przejść filtra. Działanie filtrów potwierdziło ich opisane wcześniej właściwości. Filtry dolnoprzepustowe i ruchome średnie



Ryc. 7. Cieniowanie za pomocą algorytmów w programach ArcGIS i Surfer: A – ArcGIS, odbicie Lamberta, B – Surfer, odbicie Lamberta, C – Surfer, aproksymacja Peuckera, D – Surfer, proste Horna, E – Surfer, prawo Lommela-Seeligera

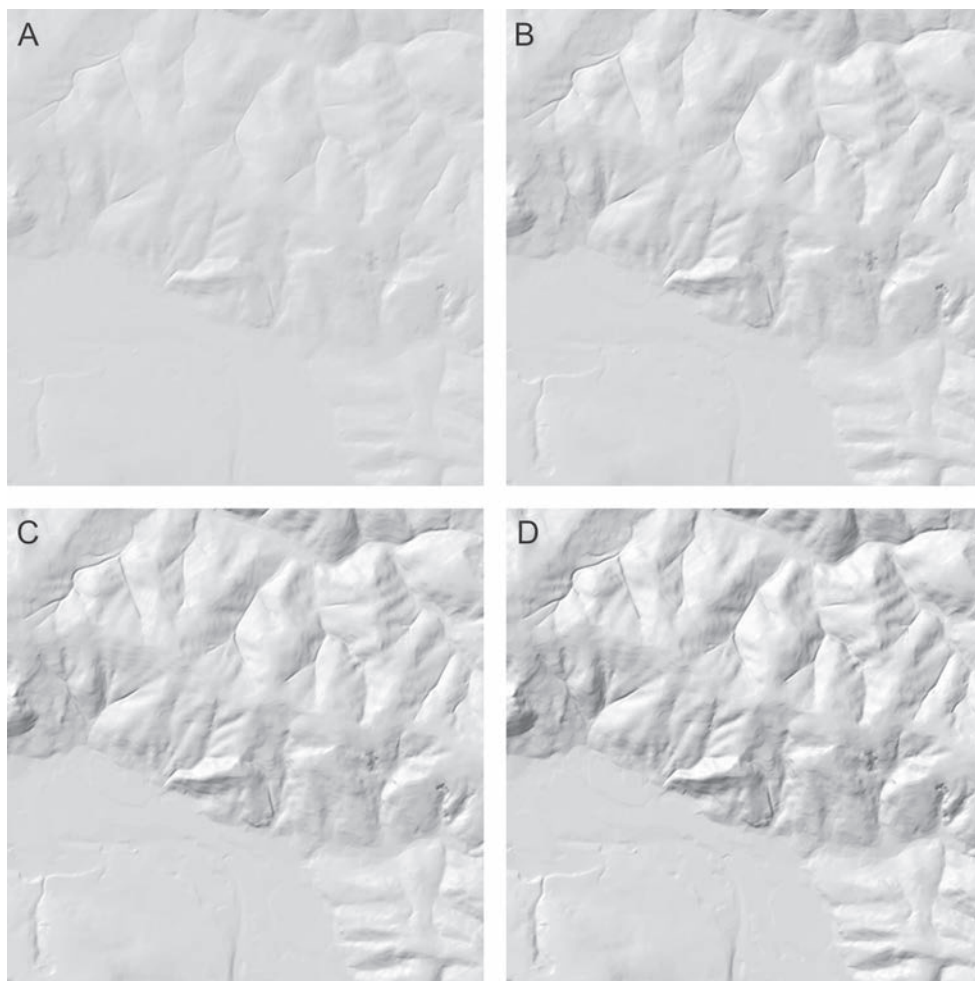
prowadziły do rozmycia obrazu. Ponieważ powierzchnia modelu nie zawierała znacznych szumów, które wymagałyby usunięcia, efekt filtrowania nie był od razu widoczny i rozmycie widać dopiero po pięciu przejściach filtra (ryc. 9A, B). Filtr górnoprzepustowy nawet o najslabszym działaniu użyty jednokrotnie uwydatnił linie szkieletowe i skarpy, dając niepożądany efekt nadmiernej szczegółowości (ryc. 10).

Zwiększenie liczby pól ruchomego okna wzmocniało działanie filtra, porównywalnie ze zwiększoną liczbą przejść o mniejszym oknie. I tak filtr o 25 polach (5×5) (ryc. 11A) dał obraz podobny do filtrowanego pięciokrotnie oknem o 9 polach (3×3) (ryc. 11B), a filtr o 49 polach (7×7) (ryc. 11C) obraz podobny jak przy dziesięciokrotnym przejściu najmniejszego filtra (ryc. 11D).

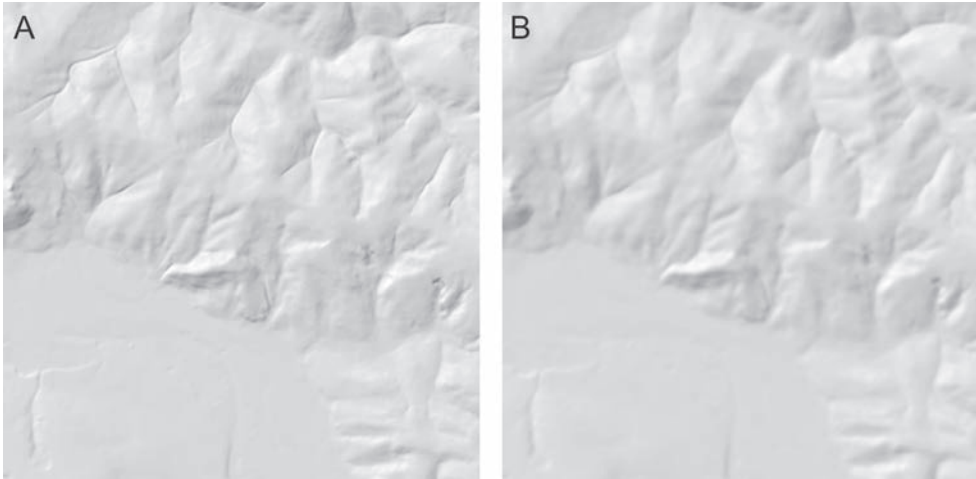
## 6. Wnioski

Użycie różnych algorytmów wykazało brak istotnych różnic między poszczególnymi wa-

riantami cieniowania. Nie powinno to dziwić, jeżeli uświadomimy sobie, że różnią się one jedynie rodzajem modelowanej powierzchni (idealnie rozpraszająca, porowata), a u ich podstaw leży „wiechelowska” zasada odbicia światła. Istotne różnice mogłyby wystąpić w przypadku cieniowania opartego na różnych modelach terenu, ponieważ to NMT znajdujący się na początku procesu cieniowania (ryc. 4) odgrywa tu najważniejszą rolę. Od budowy modelu, uwarunkowanej omówionymi wcześniej czynnikami, zależy bowiem jakość aproksymacji powierzchni terenu.

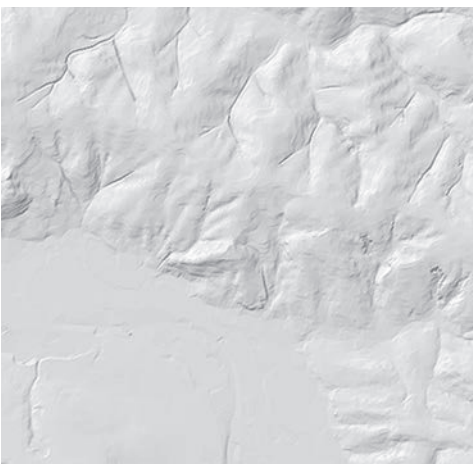


Ryc. 8. Wpływ przewyższenia modelu na cieniowanie (Surfer, odbicie Lamberta): A – współczynnik 0,5; B – współczynnik 1,0; C – współczynnik 1,5; D – współczynnik 2,0



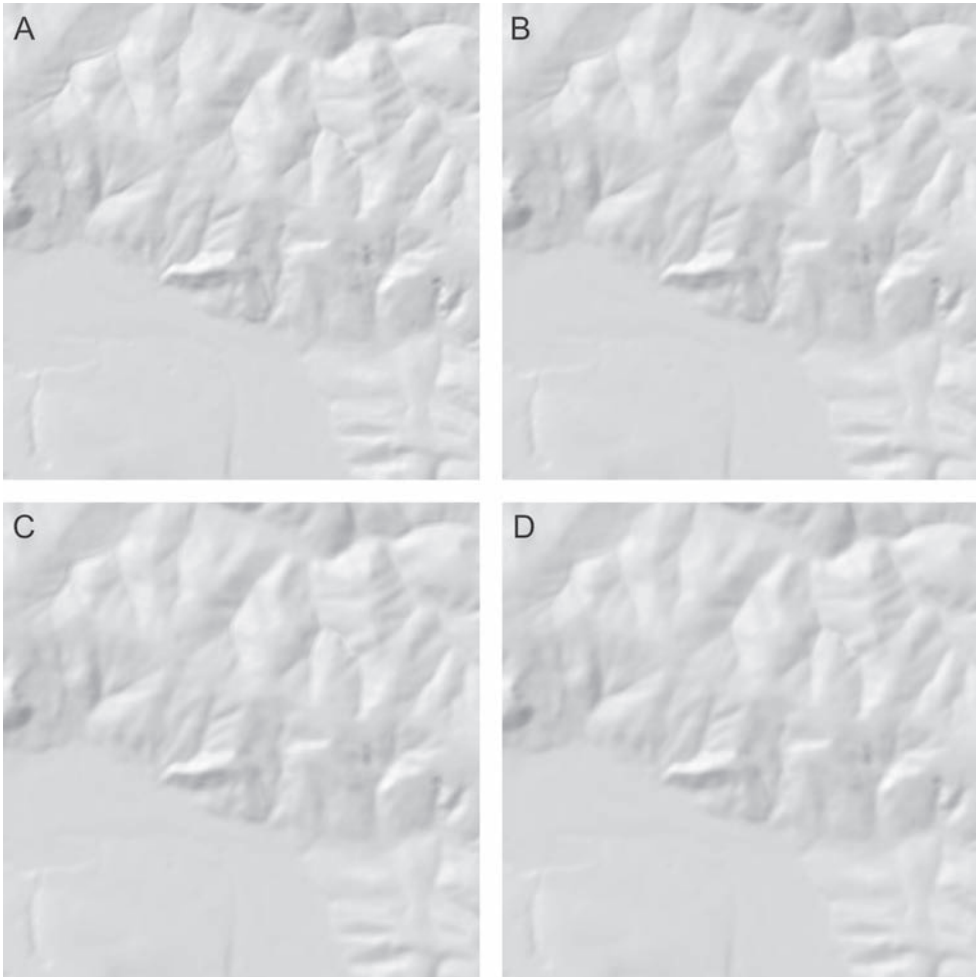
Ryc. 9. Wpływ filtrowania modelu na cieniowanie filtrami dolnoprzepustowymi (Surfer, odbicie Lamberta, filtr Gaussa): A – liczba przejść filtra 1, B – liczba przejść filtra 5

Poznanie mechanizmów cieniowania, jakkolwiek pożyteczne, nie wystarczy do jego oceny. Obraz rzeźby terenu podlega percepcji wizualnej i przede wszystkim w ten sposób jest oceniany, bez względu na technikę opracowania. Technologie numeryczne mają tu niewątpliwie swoje zalety – obiektywizują proces cieniowania oraz znacznie go przyspieszają. Paradoksalnie, powtarzalność jest jednocześnie wadą cieniowania analitycznego.



Ryc. 10. Efekt filtrowania modelu filtrem górnoprzepustowym (Surfer, odbicie Lamberta), liczba przejść 1

Algorytmiczny obiektywizm odnoszący się do pojedynczych pikseli – bo na takim poziomie szczegółowości „zapada decyzja” o ustaleniu intensywności szarości cienia – nie musi skutkować pogładowym obrazem rzeźby, ponieważ dobry efekt cieniowania wymaga szerszego spojrzenia, z uwzględnieniem kontekstu topograficznego. Świadoma decyzja o rozkładzie cieni wymaga spojrzenia na całą formę terenu, a nie odrębnie na jej elementy składowe. Efektem tego powinien być zhierarchizowany, uporządkowany obraz rzeźby, łatwy do interpretacji nawet kosztem dokładności geometrycznej (L. Hurni i in. 2001). Taka analiza rzeźby, będąca standardem przy cieniowaniu ręcznym, nie jest stosowana w procedurze analitycznej. Dobrym rozwiązaniem byłoby tu wykorzystanie doświadczeń wypracowanych w okresie cieniowania manualnego, a więc powrót do korzeni, o co upominali się autorzy niektórych publikacji, najwidoczniej nieusatisfakcjonowani dotychczasowym poziomem cieniowania, np. B. Jenny (2001) oraz L. Hurni i in. (2001). Wydaje się, że mimo upływu kilkunastu lat ten problem jest nadal aktualny. Ogólnie dostępne programy cieniowania cechuje stosunkowo małe zróżnicowanie algorytmów, w których stopień szarości elementarnej powierzchni zależy od cosinusa kąta zawartego między normalną tej powierzchni a wektorem kierunku oświetlenia, co powoduje podobny wygląd map (P.J. Kennelly 2009). Być może funkcję tę



Ryc. 11. Wpływ wielkości ruchomego okna i liczby przejść filtra na cieniowanie modelu (Surfer, odbicie Lamberta): A – wielkość okna 25 pól, liczba przejść 1; B – wielkość okna 9 pól, liczba przejść 5; C – wielkość okna 49 pól, liczba przejść 1; D – wielkość okna 9 pól, liczba przejść 10

należałoby zmodyfikować, podobnie jak dwa wieki temu stało się z „cosinusową” funkcją Lehmana, gdy okazało się, że nie najlepiej różnicuje proporcje czerni i bieli na mapach kreskowych. W pracach poświęconych cieniowaniu wyrażana jest potrzeba poprawy jego jakości, np. przez lokalne dopasowanie kierunku i natężenia światła oraz stosowanie efektu perspektywy powietrznej (P.J. Kennelly 2009; B. Jenny 2001; L. Humi i in. 2001, W. Pawlak 1979).

Istotne znaczenie przy ocenie jakości cieniowania ma porównanie ze źródłowym obrazem

rzeźby, jaki daje mapa poziomicowa (ryc. 5). Łatwo dostrzec, że cieniowanie wydobywa wiele szczegółów rzeźby, jednak osłabia główną linię grzbietową o kierunku miejscami zbliżonym do kierunku padania światła (NW). Przy próbie oświetlenia modelu z północy grzbiet został wprowadzić nieco lepiej uwydatniony, lecz kosztem mniejszych form rzeźby do niego prostopadłych. Z kolei w świetleniu zachodnim zanikł niemal główny grzbiet, natomiast szczegóły rzeźby uległy uwypukleniu lub osłabieniu, zależnie od ich przebiegu (orientacji). Przy cieniowaniu ręcznym nie byłoby proble-

mu z nadaniem właściwych percepcyjnie relacji różnicujących formy rzeźby stosownie do ich znaczenia dla topografii terenu. Uwidacznia się tu być może główny mankament cieniowania analitycznego, mianowicie brak możliwości uporządkowania obrazu rzeźby poprzez nadanie odpowiedniej hierarchii formom terenu.

Poglądowy obraz rzeźby wymaga odpowiedniej „gry” światła i cienia, w tym umiejętnego stosowania intensywności szarości i kontrastu. Cieniowanie uzyskane z numerycznego modelu terenu „jest ze swej natury powierzchniowo ciągle” (J. Jancewicz, J. Krupski 2012), stąd rzadko występuje pełna biel stoków oświetlonych, a co za tym idzie odpowiedni kontrast podkreślający linie szkieletowe (ryc. 6–11). Pod tym względem najlepiej prezentuje się obraz rzeźby na rycinie 8D, otrzymany dzięki zastosowaniu dwukrotnego przewyższenia.

Przeprowadzone próby nie pozwoliły na uzyskanie poglądowego cieniowania z wykorzystaniem programów ArcGIS i Surfer, mimo operowania różnymi parametrami modelu i jego

oświetlenia. Poprawa efektu cieniowania jest możliwa, wymaga jednak „niealgoritmicznego” retuszu, np. w programie Photoshop, co doskonale przedstawił J. Jancewicz i J. Krupski (2012), niezadowoleni z cieniowania za pomocą programu ArcInfo.

Na zakończenie pozostaje odpowiedzieć na pytanie postawione w tytule tego artykułu. Czy cieniowanie analityczne może być sztuką, podobnie jak cieniowanie tradycyjne? Na obecnym etapie rozwoju z pewnością nie i można mieć wątpliwości czy będzie kiedykolwiek, ale dopóki podejmowane są próby jego doskonalenia, dopóty nie traćmy nadziei. Każde dzieło sztuki nosi zawsze w sobie piętno indywidualności autora, niepowtarzalność, co jest cechą wielu dawniejszych map. Teraz mapy są technicznie bardzo poprawne, często perfekcyjne, ale nie ocierają się już o sztukę. To samo można powiedzieć o analitycznym cieniowaniu rzeźby terenu na mapach. Algoritmiczna formalizacja odebrała mu piękno. Szkoda...

## Literatura

- Czerwiakow W.A., Czerwiakowa W.I., 1970, *Kartografiowanie pól płotności nasilenia metodą skalziaszczętego kruszka*. W: *Nowoje w tematike, sodierzanii i metodach sostawlenija ekonomiceskich kart*. Moskwa, s. 91–100.
- Gless J.T., Thompson L., 1990, *Generating shade relief maps for site analysis and enhanced cartographic displays*; <http://downloads2.esri.com/campus/uploads/library/pdfs/140546.pdf>
- Gotlib D., Olszewski R., Kochman M., 2005: *Numeryczny model terenu w systemie informacji topograficznej*. W: *System informacji topograficznej kraju*, pod redakcją A. Makowskiego, Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, s. 171–183.
- Horn B.K.P., 1981, *Hill shading and the reflectance map*. „Proceedings of the IEEE” Vol. 69, no. 1, s. 14–47.
- Hu. P., Liu X. and Hu. H., 2009, *Isomorphism in digital elevations models and its implication to interpolation functions*. „Photogrammetric Engineering & Remote Sensing” Vol. 75, no. 6, s. 713–721.
- Hurni L., Jenny B., Dahinden T., Hutzler E., 2001, *Interactive analytical shading and cliff drawing: advances in digital relief presentation for topographic mountain maps*, [http://www.cartography.oregonstate.edu/pdf/2001\\_Hurni\\_et\\_al\\_ica.pdf](http://www.cartography.oregonstate.edu/pdf/2001_Hurni_et_al_ica.pdf)
- Imhof E., 1977, *Tasks and methods of theoretical cartography*. „Cartographica” Vol. 14, no. 1, Monograph No. 19, s. 26–37.
- Imhof E., 2007, *Cartographic Relief Presentation*. Redlands, California: ESRI Press.
- Jancewicz J., Krupski J., 2012, *Opracowanie i redakcja średnioskalowej mapy topograficznej obszaru górskiego w środowisku ArcInfo*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 44, nr 1, s. 30–45.
- Jenny B., 2001, *An interactive approach to analytical relief shading*. „Cartographica” Vol. 38, no. 1–2, s. 67–74.
- Kennelly P.J., 2009, *Hill-shading techniques to enhance terrain maps*. „Proceedings of the 24th International Cartographic Conference, Santiago, Chile”. [http://www.mountaintopography.org/publications/papers/ica\\_cmc\\_sessions/6\\_Santiago\\_Session\\_Mountain\\_Carto/santiago\\_kennelly.pdf](http://www.mountaintopography.org/publications/papers/ica_cmc_sessions/6_Santiago_Session_Mountain_Carto/santiago_kennelly.pdf)
- Kładoczny D., Żyszkowska W., 1995, *Struktura numerycznych modeli terenu a ich obraz poziomicowy*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 27, nr 4, s. 177–191.
- Kochman M., Olszewski R., 2005, *Wieloskalowe modelowanie rzeźby terenu. Część I*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 37, nr 3, s. 171–184.
- Kolejka J., Tejkal M., 2010, *Modele terenu na podstawie skaningu laserowego i ich potencjalne wykorzystanie*. W: *Numeryczne modele terenu w kartografii*. Pod red. W. Żyszkowskiej i W. Spalka. „Główne problemy współczesnej kartografii 2010”. Wrocław: Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego, s. 132–143.
- Kurczyński Z., *Numeryczny model terenu* ([www.geoforum.pl](http://www.geoforum.pl); dostęp 10.06.2015).
- Kurczyński Z., Preuss R., 2003, *Podstawy fotogrametrii*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.

- Liu X., Hu H. and Hu P., 2015, *The "M" in digital elevation models*. „Cartography and Geographic Information Science” Vol. 42, no. 3, s. 211–223, <http://dx.doi.org/10.1080/15230406.2014.998285>
- Mościbroda J., 2001, *Sztuka i nauka w kartografii – dualizm czy jedność?* „Polski Przegl. Kartogr.” T. 33, nr 2, s. 99–105.
- Nita J., Małolepszy Z., Chybiorski R., 2007, *Zastosowanie numerycznego modelu terenu do wizualizacji rzeźby terenu i interpretacji budowy geologicznej*. „Przegl. Geolog.” T. 55, nr 6, s. 511–518.
- Olszewski R., 2005, *Generalizacja NMT. W: System informacji topograficznej kraju*, pod redakcją A. Makowskiego, Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, s. 254–264.
- Olszewski R., 2006, *Systemy wnioskowania rozmytego (FIS) jako narzędzie nieliniowej generalizacji numerycznego modelu terenu*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 38, nr 4, s. 316–325.
- Olszewski R., Żyła A., 2004, *Nieliniowa generalizacja numerycznego modelu terenu z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 36, nr 2, s. 82–91.
- Ostrowski J., 2010, *Polskie piśmiennictwo na temat numerycznych modeli terenu. W: Numeryczne modele terenu w kartografii*. Pod red. W. Żyszkowskiej i W. Spalka. „Główne Problemy Współczesnej Kartografii” 2010. Wrocław: Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego, s. 183–192.
- Pawlak W., 1979, *Teoretyczne i techniczne problemy cieniowania na mapach*. „Acta Universitatis Wratislaviensis” 362, „Studia Geograficzne” T. 30. Wrocław.
- Pietkiewicz S., 1930, *O sposobach przedstawiania terenu na mapach*. Biblioteka Służby Geograficznej T. 5. Warszawa: Główna Drukarnia Wojskowa (reprint UMK, Toruń 1999).
- Pingel T., Clarke K., 2014, *Perceptually shaded slope maps for the visualization of digital surface models*. „Cartographica” Vol. 49, no. 4, s. 225–240.
- Siwek J., 1998, *Czy mapa musi być ładna? W: Problemy kartografii tematycznej*. „Materiały Ogólnopolskich Konferencji Kartograficznych” T. 20, Lublin, s. 57–59.
- Siwek J., 2000, *Should maps be nice-looking?* „Miscellanea Geographica” Vol. 9, s. 263–266.
- Śleszyński P., 2009, *Wykorzystanie danych georadarowych SRTM-3 w analizie zróżnicowania ukształtowania terenu Polski*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 41, nr 3, s. 237–252.
- Weibel R., 1992, *Models and experiments for adaptive computer-assisted terrain generalization*. „Cartography and Geographic Information Systems” Vol. 19, no. 3, s. 133–153.
- Wiechel H., 1878, *Theorie und Darstellung der Beleuchtung von nicht gesetzmässig gebildeten Flächen mit Rücksicht auf die Bergzeichnung*. „Civilingenieur” Bd. 24, H. 4–5, s. 335–364.
- Wieczorek M., Szymanowski M., 2010, *Modelowanie wysokości terenu technikami interpolacji przestrzennej. W: Numeryczne modele terenu w kartografii*. Pod red. W. Żyszkowskiej i W. Spalka. „Główne Problemy Współczesnej Kartografii” 2010. Wrocław: Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego, s. 97–109.
- Yoëli P., 1965, *Analytische Schattierung. Ein Kartographischer Entwurf*. „Kartographische Nachrichten” Bd. 14, s. 142–148.
- Yoëli P., 1967, *Die Richtung des Lichtes bei analytischer Schattierung*. „Kartogr. Nachrichten” Bd. 17, H. 2, s. 37–44.

### Źródła internetowe

- How Hillshade Works*. EDN: ESRI. Developer Network  
[http://edndoc.esri.com/arcobjects/9.2/net/shared/geoprocessing/spatial\\_analyst\\_tools/how\\_hillshade\\_works.htm](http://edndoc.esri.com/arcobjects/9.2/net/shared/geoprocessing/spatial_analyst_tools/how_hillshade_works.htm)  
<http://www.goldensoftware.com>  
<http://www.codgik.gov.pl/index.php/zasob/numeryczne-dane-wysokosciowe.html>

## Can analytical shading be art? Reflections on the canvas of experiments with ArcGIS and Surfer

### Summary

Despite numerous theoretical and experimental studies of analytical relief shading, devised about half a century ago, its quality has not yet reached the excellence of traditional (manual) shading. The paper discusses its basic principles and the main factors affecting the quality of shading. It also stresses the crucial importance of the digital terrain model used as the basis for shading as well as the proper generalization of the relief. Experiments with shading modules of ArcGIS and Surfer, aiming to explore the

functionality of algorithms they employ, have demonstrated significant similarity of the results. In conclusion, the authors attempt to answer the question posted in the title of the article. In their view, analytical shading is not art because shading algorithms are incapable of producing the visually beautiful effects that an experienced cartographer with artistic talents can create.

**Keywords:** digital terrain model, analytical shading, art in cartography, GIS programs