

## JAK OCENIĆ JAKOŚĆ FOTOMETRYCZNĄ ORTOFOTOMAPY?

## HOW TO ASSESS THE PHOTOMETRIC QUALITY OF THE ORTHOPHOTOMAP?

Krystian Pyka

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: radiometria, fotometria, rozdzielczość, jakość, ortofotomapa

STRESZCZENIE: Automatyzacja produkcji oraz stosunkowo niskie koszty opracowania powodują, że ortofotomapa stała się jednym z ważniejszych a być może najpopularniejszym produktem geoinformatycznym. W sytuacji masowego wykorzystywania ortofotomapy, co widać zwłaszcza w geoportalach internetowych, coraz większej wagi nabiera ocena jakości. O ile jakość geometryczna jest względnie łatwa do oceny to zgoła inaczej jest z jakością radiometryczną. W publikacji zwrócono uwagę na fakt, że w stosunku do ortofotomapy trafniej jest mówić o jakości fotometrycznej niż radiometrycznej. Dla uzasadnienia tezy opisano ogólną różnicę pomiędzy radiometrią a fotometrią a w szczególności przeanalizowano czym jest rozdzielczość radiometryczna a czym fotometryczna. W dalszej części pracy przedstawiono próbę kompleksowego zdefiniowania pojęcia jakości fotometryczna ortofotomapy. Uznano, że jakość fotometryczna ortofotomapy to stopień spełnienia przez obraz (o określonej rozdzielczości geometrycznej) szeregu warunków kształtujących jego przydatność do interpretacji treści. Następnie omówiono poszczególne warunki determinujące jakość fotometryczną podając każdorazowo możliwości ilościowej oceny spełnienia danego warunku.

### 1. WPROWADZENIE

Historia rozwoju ortofotomapy jest stosunkowo krótka - obejmuje niewiele ponad pięćdziesiąt lat. W tym czasie znacznie zmieniła się technologia, która dziś zasługuje w pełni na miano cyfrowej. Diametralnie zmieniła się nie tylko technologia opracowania, ale także sposób korzystania z ortofotomapy. Praktycznie zaprzestano reprodukcji ortofotomapy technikami fotograficznymi i drukarskimi, a zapis na płytach CD, stosowany zaledwie od kilkunastu lat, zaczyna ustępować transmisji zdalnej. Ortofotomapa jest dzisiaj obecna w geoportalach internetowych co najmniej tak samo często jak mapa topograficzna.

W sytuacji tak łatwego dostępu do ortofotomapy coraz ważniejsze staje się pytanie o jakość ortofotomapy. Pojęcie „jakość ortofotomapy” kojarzy się powszechnie z rozdzielczością geometryczną. Jak porównać jakość dwóch różnych ortofotomap w przypadku, gdy obie mają tę samą rozdzielczość geometryczną? Do rozważań należy włączyć inny czynnik – jakość radiometryczną. Jednakże w sytuacji gdy ortofotomapa znakomicie sprawdza się w roli mapy podkładowej, czyli jest interpretowana wizualnie,

należy mówić o jakości fotometrycznej a nie radiometrycznej. Bo fotometria to część radiometrii skupiająca się na percepcji obrazu przez system wzrokowy człowieka.

Dziś, pod koniec pierwszej dekady XXI wieku, produkcja ortofotomap w Polsce jest wręcz masowa. Ortofotomapy są zamawiane zarówno przez jednostki administracji centralnej jak i samorządy, praktycznie wszystkich szczebli. Niemal bez wyjątku w warunkach technicznych znajduje się zapis o przykładowej treści: *brak różnic tonalnych pomiędzy arkuszami ortofotomapy w granicach ciągłego obszaru opracowania*, czasem dodana jest wzmianka o jakościowej kwantyfikacja różnic tonalnych, *które nie mogą być znaczące*. Na tle spełnienia tego warunku dochodzi często do nieporozumień przy odbiorach technicznych.

Spróbujmy zastanowić się, czy ortofotomapa może być jednolita tonalnie? Jeśli ograniczymy się do optyki geometrycznej, co często czynimy w fotogrametrii, wówczas prawdziwe jest twierdzenie, że źródłem punktów homologicznych na różnych zdjęciach jest ten sam punkt terenowy. Ale źródłem naświetlenia tego punktu na tychże zdjęciach są promienie świetlne przenoszące inną luminancję. Różna luminancja występuje zawsze, dotyczy nawet powierzchni poziomej o odbiciu Lambertowskim. A przecież w rzeczywistości występują różne typy odbicia a zróżnicowanie luminacji powiększa nachylenie terenu. Dla kompletności rozważań należy choćby tylko wspomnieć o zmianie azymutu i wysokości Słońca w trakcie wykonywania zdjęć dużego obszaru, czyli o różnym oświetleniu tych samych obiektów (w praktyce dotyczy zdjęć zarejestrowanych z sąsiednich szeregów). Zdjęcia, a w konsekwencji ortoobrazy, nie mogą posiadać identycznych właściwości tonalnych w miejscach pokrycia. Niestety (?) każde zdjęcie, a w konsekwencji ortoobrazy, są niepowtarzalnymi obrazami malowanymi światłem. W tej sytuacji tzw. wyrównanie tonalne jest zabiegiem sztucznym, mającym uzasadnić, że ortofotomapa spełnia kryterium modelu kartograficznego w którym te same obiekty powinny być przedstawione identycznie, niezależnie od miejsca w przestrzeni.

Dążenie do „idealnej” zgodności tonalnej ortoobrazów z których kompilowana jest ortofotomapa, jest nieracjonalne, gdyż nawet przy perfekcyjnym wykonaniu wszystkich czynności technologicznych (włącznie z wykonaniem zdjęć) ortoobrazy muszą różnić się tonalnie. Jeśli ortofotomapa zmozaikowana z różnych ortobrazów jest jednolita tonalnie, to znaczy, że uzyskano ten efekt na drodze sztucznych zabiegów. Ale prawie każdy taki zabieg ma skutki uboczne: z dużym prawdopodobieństwem można postawić tezę, że ortoobrazy, każdy z osobna, mają lepszą jakość radiometryczną (fotometryczną) od finalnej ortofotomapy.

Jedynym sposobem na uniknięcie konfliktów na tle wyrównania tonalnego jest opracowanie obiektywnych miar jakości fotometrycznej (radiometrycznej) ortofotomapy.

## **2. RÓŻNICA POMIĘDZY RADIOMETRIĄ I FOTOMETRIĄ**

W obrazowaniu teledetekcyjnym termin radiometria oznacza zdalny pomiar mocy promieniowania elektromagnetycznego odbijanego bądź emitowanego przez obiekty terenowe. Czasami zmierza się dodatkowo do ustalenia korelacji pomiędzy promieniowaniem odbitym od obiektu (lub emitowanym) a promieniowaniem

dochodzącym do sensora. To zadanie jest trudne, jego rozwiązanie wymaga znajomości szeregu parametrów fizycznych atmosfery oraz modelu odbicia danego obiektu. Dlatego w praktyce teledetekcyjnej często godzimy się z faktem, że jasności pikseli obrazowych są nieznaną funkcją luminancji energetycznej obiektów. Dość powszechnie atrybuty pikseli obrazu cyfrowego są określane jako DN (ang. *Digital Number*), czyli jest to „jakaś liczba” a nie - zwymiarowana wielkość energetyczna. Interpretując obraz wyróżniamy obiekty dzięki zróżnicowaniu DN, które dobrze (ale nie idealnie) oddaje zróżnicowanie źródłowej luminancji obiektów terenowych. O ile w teledetekcji, zwłaszcza przy obrazowaniu średnio i nisko rozdzielczym (w sensie geometrycznym), wciąż badane są metody korekcji zarejestrowanego przez sensor promieniowania to w fotogrametrii nie czyni się tego praktycznie nigdy. Nawet wtedy, gdy stosujemy w kamerach filtry korygujące zaniebieszczenie obrazów, robimy to tylko dla osiągnięcia obrazu lepszego wizualnie.

Celem powyższych rozważań jest zwrócenie uwagi na fakt, że obraz cyfrowy odwzorowuje zróżnicowanie promieniowania elektromagnetycznego a nie wielkości bezwzględne tego promieniowania. W fotogrametrii zarówno pomiar manualny jak i automatyczny skupia się w swej istocie na odróżnieniu obiektu (lub jego detalu) od otoczenia na podstawie zakodowanych w obrazie różnic jasności (interpretowanych wraz z ich strukturami przestrzennymi). O ile w technologii opracowania ortofotomapy udział automatyzacji jest znaczący, to w procesie wykorzystywania ortofotomapy dla osiągnięcia określonych celów użytkowych zdecydowanie dominuje fotointerpretacja wykonywana przez człowieka. Perspektywa zmiany w tym zakresie jest dość daleka.

Jak pokazują liczne badania automatyczne rozpoznanie treści obrazów satelitarnych traci skuteczność wraz ze wzrostem rozdzielczości geometrycznej obrazów, nawet w sytuacji, gdy proces odbywa się z wykorzystaniem klasyfikacji obiektowej. Ortofotomapy wykonane ze zdjęć lotniczych, z racji zdecydowanie niższego pułapu obrazowania i mniejszego piksela obrazów źródłowych, są „skazane” na odczytywanie manualne. Dlatego tak ważne jest, aby wspomniane wielkości DN tworzyły obraz czytelny dla systemu wzrokowego człowieka. Dobrym przykładem wychodzenia naprzeciw temu wymogowi jest zabieg tzw. rozciągania kontrastu, kiedy to mała różnica DN pomiędzy cieniami i światłami, jaka de facto jest zakodowana w obrazie, jest skalowana do szerszego zakresu, dla polepszenia warunków wizualizacji obrazu na ekranie monitora.

Z punktu widzenia oceny przydatności ortofotomapy do interpretacji poszukiwanej treści, fundamentalne znaczenie - obok wielkości piksela - ma wpływ obrazu (raz całości a raz jego fragmentu) na wrażenia wizualne w oku ludzkim. Czy możemy mówić o jakości radiometrycznej? Tak, bo przecież obraz powstaje dzięki pomiarowi energii fal elektromagnetycznych, co jest istotą radiometrii. Ale lepiej, gdy w takim przypadku użyjemy określenia jakości fotometryczna. Fotometria jest częścią składową radiometrii a jej specyfiką jest uznanie oka ludzkiego za przyrząd pomiarowy i wyznaczenie optymalnych warunków wizualizacji obrazu.

### **3. ROZDZIELCZOŚĆ RADIOMETRYCZNA I FOTOMETRYCZNA**

Definicja rozdzielczości radiometrycznej obrazu ma charakter czysto techniczny. Rozdzielczość radiometryczna jest liczbą oznaczającą długość przedziału liczbowego

zarezerwowanego na zapis jasności pikseli. Liczba ta jest zawsze większa od rzeczywistego przedziału wyznaczonego przez  $DN_{\min}$  i  $DN_{\max}$  danego obrazu (lub co najwyżej równa). Musi tak być, gdyż rozdzielczość radiometryczna jest dostosowana do minimalnej i maksymalnej czułości energetycznej sensora, czyli do zakresu dynamicznego sensora. Z kolei zakres dynamiczny sensora projektuje się tak, aby obejmował różne warunki oświetleniowe i różne rodzaje krajobrazów, które kształtują zakres dynamiczny rejestrowanych scen. Zakłada się przy tym, że operator kamery właściwie ustawi czas i przesłonę (czy tak było ukazują histogram obrazu).

Ze względów informatycznych rozdzielczość radiometryczna jest liczbą z dziedziny stanowiącej ciąg naturalnych potęg liczby 2. Dla podkreślenia tego faktu często podaje się rozdzielczość radiometryczną w postaci wykładniczej o podstawie 2 i wykładniku równym liczbie bitów (#bit) słowa dwójkowego przeznaczonego do zapisu DN pojedynczego piksela, czyli  $2^{\#bit}$ . Równie często rozdzielczość podawana jest tylko poprzez liczbę bitów. Innymi słowy ta samo rozdzielczość może być podana na trzy sposoby, np. 256,  $2^8$ , 8 bitów. Dla obrazów wielokanałowych należy mówić o rozdzielczości radiometrycznej osobno w każdym kanale (zwykle te rozdzielczości są równe). Natomiast przy wyświetlaniu obrazów barwnych w trybie RGB, wyrażamy rozdzielczość jako iloczyn rozdzielczości trzech składowych spektralnych, np. 3 x 8 bitów.

Znacznie bardziej złożony jest problem rozdzielczości fotometrycznej. System wzrokowy człowieka wykazuje szereg skomplikowanych właściwości, z których wiele do dziś nie jest wyjaśnionych. Dlatego modelowanie percepcji ludzkiej jest dalekie od doskonałości.

Jeśli jako model percepcji barw przez człowieka przyjmiemy HSI (ang. *Hue, Saturation, Intensity*), wówczas należy wyróżnić trzy rozdzielczości fotometryczne:

- w zakresie odcienia (waloru) barwy – szacuje się, że człowiek wyróżnia około 400 odcieni,
- w zakresie nasycenia barwy - szacuje się, że człowiek wyróżnia (średnio) około 20 poziomów nasycenia dla każdego odcienia ,
- w zakresie jasności barwy - szacuje się, że człowiek wyróżnia około 100 poziomów jasności.

Podane liczby należy traktować tylko orientacyjnie, gdyż w literaturze można spotkać dość rozbieżne szacunki. Przykładowo całkowitą liczbę barw jaką rozróżnia system wzrokowy człowieka jedni autorzy szacują na ok. 2 mln a inni na 10 mln (Wyszecki, Stiles, 2000). Przy interpretacji tych wielkości należy pamiętać, że tak duża liczba barw nie jest wyróżniana jednocześnie w chwilowym polu widzenia oka ludzkiego. Jednym z fenomenów widzenia jest adaptacja oka, które przystosowuje się do warunków oświetleniowych i do zakresu odbijanych fal elektromagnetycznych. Oko ma lokalnie (w polu widzenia) znacznie mniejszą rozdzielczość ale obserwując kolejne fragmenty obrazu sumuje lokalne wrażenia i przez to rośnie wyróżnialność całkowita. Problem widzenia barw komplikują także inne własności oka, w tym zmienna rozdzielczość w funkcji zmian luminancji obserwowanej sceny oraz specyfika filtracyjna oka, które filtruje luminancję średnioprzepustowo a składowe chromatyczne - dolnoprzepustowo (Mannos, 1974).

Bardzo ważnym elementem kształtującym wyróżnialność detali w obserwowanej przez człowieka scenie jest kontrast lokalny, zwany kontrastem Webera, opisany wzorem (1):

$$C_w = \frac{|\Delta L|}{L} \quad (1)$$

Wyraża on stosunek różnicy luminancji szczegółu i jego otoczenia ( $\Delta L$ ) do luminancji tego otoczenia (tła na którym występuje obiekt/szczegół). Najmniejsza wielkość kontrastu wykrywana przez oko ludzkie wynosi w granicach 1-2%, nazywana jest progmem kontrastu luminancji (Wyszecki, Stilem, 2000). Rola luminancji nie ogranicza się do obrazów czarno-białych. Dla obrazów barwnych kontrast można analizować osobno dla każdej składowej RGB. Ponadto każda barwa wywołuje w oku ludzkim określone wrażenie jasności, które jest sumą ważoną składowych RGB:

$$L = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (2)$$

#### 4. JAKOŚĆ FOTOMETRYCZNA ORTOFOTOMAPY

Jakość fotometryczna ortofotomapy to stopień spełnienia przez obraz (o określonej rozdzielczości geometrycznej) następujących warunków kształtujących jego przydatność do interpretacji treści:

- optymalne wykorzystanie rozdzielczości radiometrycznej,
- kontinuum jasności i tonacji obrazu,
- odpowiedni dla wyróżnienia detali kontrast lokalny,
- akceptowalny poziom szumów,
- brak efektów sztucznych (nieuzasadnionych treścią obrazu źródłowego),
- stałość barw w obrębie całego obrazu dla wszystkich obiektów, które powinny podobnie odbijać promieniowanie elektromagnetyczne rejestrowane przez sensor,
- zachowanie naturalnej tonacji obiektów rzeczywistych (dla obrazów RGB).

Ilościowy opis powyższych warunków, ze względu na ich bardzo złożoną naturę, jest trudny do sformalizowania. Najłatwiej można podać wymagania ilościowe w ocenie efektywności wykorzystania rozdzielczości radiometrycznej. Najtrudniej sformalizować warunki w zakresie stałości barw i zachowania naturalnej tonacji.

Optymalne wykorzystanie rozdzielczości radiometrycznej można ocenić przy pomocy parametrów statystycznych charakteryzujących histogram obrazu. Za optymalny histogram należy uznać taki, który ma szeroką podstawę (zakres od jasności minimalnej do maksymalnej), tylko sporadycznie zachowaną ciągłość wykorzystanych w obrazie jasności, a jasności koncentracją się wokół co najmniej jednego, wyraźnego maksimum. Ilościowo warunki te można zdefiniować następująco ( dla obrazu barwnego dotyczą osobno każdego kanału spektralnego):

- stosunek odchylenia standardowego jasności do rozdzielczości radiometrycznej powinien zawierać się w określonym przedziale, np. od 15 do 30%,

- stosunek zakresu użytecznego (zakres w którym mieści się 99% wszystkich liczebności histogramu) do rozdzielczości radiometrycznej powinien zawierać się w określonym przedziale, np. od 70% do 90% ,
- liczebności graniczne czyli wyrażone w procentach stosunki liczby pikseli o wartościach odpowiednio 0 i  $2^{\#bit}-1$  do całkowitej liczby pikseli obrazu powinny być mniejsze od przyjętego progu, np. 0,5% liczby pikseli ortofotomapy.

Kontynuuum jasności i tonacji obrazu jest warunkiem wynikającym z założenia, że w scenach naturalnych, tj. obrazach środowiska geograficznego, dominują subtelne zmiany jasności i tonacji, a zmiany radykalne dotyczą tylko granic pomiędzy obiektami, a udział powierzchniowy tych styków w obrazie jest praktycznie zawsze niewielki (bardzo mały dla terenów naturalnych, większy dla terenów silnie zurbanizowanych). Oczywiście to ogólne założenie nie wyklucza wyjątków, są to jednak przypadki rzadko zachodzące na kontynencie europejskim i stosunkowo łatwo można je wykluczyć z analizy.

Ocenę kontynuuum jasności i tonacji można wykonać na podstawie parametrów statystycznych histogramów poszczególnych składowych spektralnych obrazu. W zakresie użytecznym histogramu (czyli bez tzw. „ogonów”), nie powinno być żadnej luki, rozumianej jako brak wystąpienia w obrazie określonej jasności. Natomiast gwałtowne zmiany liczebności histogramu, tj. takie w których liczebność wystąpienia pewnej jasności jest kilkukrotnie mniejsza lub większa od liczebności jasności sąsiednich, stanowią podstawę do zbadania przyczyny tego zjawiska (sytuacja może wystąpić m.in. wtedy, kiedy w treści obrazu przeważają dwa typy użytkowania, których obraz jest wysoce homogeniczny – np. jeziora otoczone lasami). W przypadku obrazów barwnych poza badaniem histogramów składowych spektralnych można zalecić badanie parametrów statystycznych histogramów po transformacji RGB do modelu barw HSI. Zagadnienie to jest szerzej omówione w dalszej części.

Odpowiedni dla wyróżnienia detali kontrast lokalny oraz akceptowalny poziom szumów są współzależnymi elementami jakości fotometrycznej, zwłaszcza w sytuacji gdy rozpatrujemy tylko obrazy cyfrowe (niezależnie od sposobu ich pozyskania). Miejsca o słabym kontraście są tym trudniejsze do interpretacji im większy jest poziom szumów. Problem zbyt niskiego kontrastu nasila się w tzw. cieniach i światłach obrazu. W przypadku miejsc ciemnych mamy szczególnie niekorzystny stosunek szumu do sygnału. Poziom szumów, które występują w każdym obrazie cyfrowym, najłatwiej ocenić obserwując obiekty, które powinny mieć na obrazie strukturę jednolitą, takie jak łąki czy nawierzchnie asfaltowe.

Zarówno dla kontrastu jak i szumów trudno zdefiniować parametry bezwzględne a łatwiej względne, odniesione do obrazu źródłowego. Obiektywnym wskaźnikiem jakości fotometrycznej jest spadek kontrastu lokalnego w stosunku do obrazów źródłowych (w przypadku ortofotomapy często mamy do czynienia z więcej niż jednym obrazem źródłowym). Znajdując odpowiadające sobie miejsca na zdjęciu i ortofotomapie, takie, w których ortorektyfikacja nie spowodowała zasadniczej zmiany relacji przestrzennych pomiędzy detalem a tłem, wybrane najlepiej zarówno w światłach jak i w cieniach, można wyznaczyć z formuły Webera kontrasty lokalne a następnie określić z wzoru (3) zmiany kontrastu:

$$\Delta C[\%] = \frac{C_2 - C_1}{C_1} 100\% \quad (3)$$

gdzie:  $C_1$  i  $C_2$  to kontrasty lokalne odpowiednio na obrazie źródłowym i ortofotomapie.

Dla wielkości  $\Delta C[\%]$  można określić wartość progową, która nie powinna być przekroczona. Na podstawie wniosków z wielu przeprowadzonych pomiarów autor proponuje, aby za wartość progową uznać zmianę kontrastu o wielkości 10%.

Za oczekiwaną należy uznać sytuację, gdy kontrast ortofotomapy jest mniejszy niż obrazu źródłowego. Tylko w pewnych szczególnych sytuacjach może być odwrotnie, natomiast jeśli jest to tendencja a nie pojedyncze zdarzenia, wówczas należy przeanalizować przyczynę. Powodem takiej sytuacji mogą być błędy zarówno na etapie opracowania ortoobrazów (np. zbyt silne wyostrenie jako przeciwdziałanie wygładzającemu skutkowi powtórnego próbkowania) jak i na etapie montowania z nich ortofotomap (ujednoczenie zbyt mocno różniących się radiometrycznie ortoobrazów).

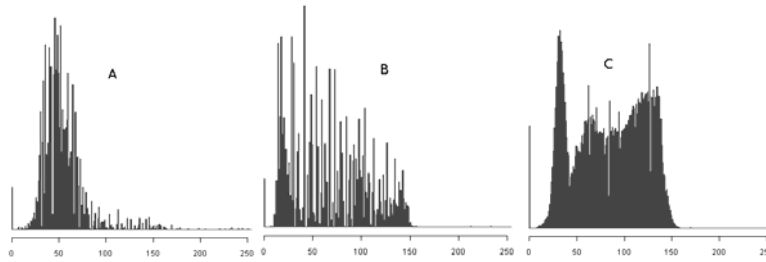
Z analizy procesu technologicznego wynika, że ortofotomapa powinna mieć niższy poziom szumów niż obraz źródłowy. Głównym powodem jest powtórne próbkowanie, podczas którego następuje odfiltrowanie wysokich częstotliwości (odnosi się to do powszechnie używanych metod interpolacji tj. bilinearnej i bikubicznej). Interesujące wyniki w zakresie porównywania poziomu szumów pomiędzy obrazem źródłowym a ortofotomapą można osiągnąć stosując transformację falkową (Pyka, 2005).

W obrazie nie mogą występować efekty sztuczne, tj. takie, których nie zawiera obraz źródłowy. Błędy popełnione podczas opracowania ortofotomapy, zwłaszcza gdy zastosowano niewłaściwą postać modelu „terenu” (który lokalnie musi opisywać obiekty budowlane a nie teren), prowadzą do powstania sztucznych efektów, tzw. artefaktów. Są to defekty o charakterze geometrycznym, radiometrycznym lub mieszanym. Do artefaktów geometrycznych należą zaburzenia układów przestrzennych w obrazie, np. zniekształcony przebieg mostów (typowy przypadek: wygięcie od rzeczywistej prostoliniowości). Artefakty radiometryczne objawiają się w postaci całkowicie abstrakcyjnych struktur przestrzennych, najczęściej niewielkich powierzchniowo. Przykładem defektów geometryczno-radiometrycznych jest powtórzenie pewnej treści (np. dwa równoległe dukty leśne zamiast jednego) lub rozmazanie wskutek interpolacji w obszarze który na obrazie źródłowym był niewidoczny. Wszystkie podane przykłady zniekształceń są to w swej istocie także szumami, jednakże w odróżnieniu od „klasycznych” szumów występują lokalnie a nie powierzchniowo. Wykrycie artefaktów geometrycznych jest możliwe tylko przez wizualną obserwację ortofotomapy. W przypadku artefaktów radiometrycznych i częściowo geometryczno-radiometrycznych pomocnym narzędziem detekcji jest transformacja falkowa (Pyka, 2005).

Jak stwierdzono wcześniej, najtrudniej ocenić obiektywnie dwa czynniki jakości fotometrycznej: stałość barw w obrębie całego obrazu, oraz zachowanie naturalnej tonacji obiektów rzeczywistych (dla obrazów RGB). Stałość barw dotyczy tylko tych obiektów, które pomimo innego położenia w obrazie powinny podobnie odbijać promieniowanie elektromagnetyczne rejestrowane przez sensor. Aby badać ten warunek należy posiadać złożoną wiedzę pozwalającą ocenić obicie promieniowania, na którą składają się takie

informacje jak: rodzaj odbicia od obiektu (powierzchni, detalu), ekspozycja obiektu lub jego części składowych (ukierunkowanie względem północy), ukształtowanie terenu w otoczeniu obiektu. Jeszcze trudniejsza jest ocena tonacji obrazu względem rzeczywistej tonacji sceny.

Barwa jest dla postrzegania wzrokowego pierwszoplanowym czynnikiem, który po uzupełnieniu o takie cechy jak kształt i rozmiar obiektu, kształtuje rozpoznanie treści. Ponadto oko ludzkie wprawdzie ocenia wypadkową tonację całego obrazu i wrażenie powstałe na początku obserwacji pozostaje niezmiennie do jej końca. O naturalności tonacji możemy mówić wtedy, gdy treść obrazu wywołuje u obserwatora skojarzenia zgodne z utrwalonym przez niego wyobrażeniem o obiektach rzeczywistych. Ale te wyobrażenia podlegają emocjom a dodatkowo rzeczywistość może zostać zapamiętana tylko dla jednej lub subiektywnie wybranych sytuacji spostrzeniowych. Tymczasem tonacja obrazu zależy od pory roku, pory dnia i warunków oświetleniowych. Tonacja ortofotomapy powinna oddawać walory barwy odpowiadające porze roku, co dotyczy głównie treści przyrodniczej.



Rys. 1. Histogramy składowej H obrazów A, B, C (opis w tekście)

Aby ocenić tonację w sposób formalny, należy dokonać konwersji źródłowego modelu RGB do modelu IHS (lub HLS). Obserwacja histogramu składowej H (ang. *Hue*) daje pogląd na dominującą tonację obrazu a pośrednio także na kontinuum tonacji. Na rysunku 1 pokazano histogramy składowej H trzech obrazów A, B, C. Należy zwrócić uwagę, że na rysunku oś pozioma jest wyskalowana w zakresie 0-255, podczas gdy w modelu HSI składowa H ma zakres  $0^{\circ}$ - $360^{\circ}$  (wartość z tego zakresu uzyskuje się przez wymnożenie przez współczynnik skalujący  $360/255$ ). Pierwsze dwa histogramy dotyczą ortobrazów tego samego terenu, ale powstałych z ortorektyfikacji zdjęć wykonanych kamerą analogową (A) i cyfrową (B). Obraz A ma tonację żółto-zieloną, zgodną z wyobrażeniem obserwatora na temat pól uprawnych w sierpniu. Obraz B jest znacznie bardziej zróżnicowany tonalnie a dominuje odcień pomarańczowy, co powoduje pewną sprzeczność z utrwalonym, naturalnym wyobrażeniem obserwatora (w tym wypadku autora publikacji). Ponadto zwraca uwagę lepsze spełnienie warunku kontinuum tonacji przez obraz A niż przez obraz B. Trzeci histogram dotyczy jednego z dzieł malarskich Claude Monet-a. Wybrano przykład krajobrazu widzianego oczyma impresjonisty, gdyż obrazy te zawierają bardzo szeroką gamę barw, które - jak pokazuje histogram- spełniają warunek kontinuum odcieni (w wyższym stopniu niż analizowane ortobrazy).

Intencją zamieszczenia rysunku 1 jest wskazanie na potencjał jaki niesie model barw HSI w analizie jakości fotometrycznej. Zdaniem autora konieczne jest włączenie tego



modelu (lub innego np. LUV) do dalszych badań nad zdefiniowaniem miar dotyczących stałości barw oraz zachowania naturalnej tonacji obiektów rzeczywistych.

## **5. PODSUMOWANIE**

W sytuacji masowej produkcji ortofotomapy, z coraz większym udziałem automatyzacji, opracowanie ilościowych parametrów jakości fotometrycznej może być bardzo pożyteczne. Powinno pomóc w przezwycięzeniu nieracjonalnego dążenia do „idealnej” ortofotomapy. Pewne różnice jakości fotometrycznej powinny być dopuszczone, ale tylko w zakresie w jakim są uzasadnione. Aby stwierdzić kiedy różnica jest dopuszczalna, trzeba posiadać odpowiednie „narzędzia pomiarowe”. Pomimo złożonej natury jakości fotometrycznej udaje się opisać ilościowo część czynników kształtujących to pojęcie.

Na rynku wirtualnych map i tzw. lokalizatorów internetowych ortofotomapa ma bardzo silną pozycję z tendencją do jej wzmacniania. Zdarza się jednak, że serwowane są ortofotomapy o niskiej jakości, błędy dotyczą zwłaszcza pomijania specyficznych właściwości systemu wzrokowego człowieka. Przeciwdziałanie niskiej jakości to kolejny argument przemawiający za potrzebą wypracowania parametrów jakości fotometrycznej ortofotomapy.

Warto zastanowić się nad koniecznością archiwizowania ortofotomapy w modułach „kartograficznych”. Jedną z cech ortofotomapy jest zachowanie kroju sekcyjnego stosowanego dla map. Jest to typowy zabieg ułatwiający przechowywanie i udostępnianie materiałów kartograficznych. Jednakże w sytuacji, gdy dominującym medium przekazu informacji jest Internet oraz gdy każdemu ortoobrazowi umiemy nadać georeferencje, tworzenie regularnych modułów archiwizacji jest anachronizmem. Wystarczającym identyfikatorem ortoobrazu są współrzędne środka geometrycznego plus rozciągłość w kierunku równoleżnikowym i południkowym (tzw. geograficzny prostokąt ograniczający). Jednak jest to postulat jeszcze zbyt radykalny jak na przyzwyczajenia twórców, gestorów i użytkowników materiałów kartograficznych.

## **6. LITERATURA**

Mannos J. L., Sakrison D. J. 1974: The Effects of a Visual Fidelity Criterion on the Encoding of Images. *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 525-535, vol. 20, No 4, (1974)

Pyka K., 2005: Falkowe wskaźniki zmian radiometrycznych zachodzących w procesie opracowania ortofotomapy. *UWND AGH* Kraków, 2005.

Wyszecki G., Stiles W.S., 2000: Color Science, Concept and Methods, Quantitative Data and Formulae. Second Edition, John Wiley and Sons ONC NY. ISBN 0-471-39918-3.

Praca wykonana w ramach badań statutowych AGH 11.11.150.949/09

## **HOW TO ASSESS THE PHOTOMETRIC QUALITY OF THE ORTHOPHOTOMAP ?**

KEY WORDS: radiometry, photometry, resolution, quality, orthophoto

SUMMARY: The automation of the production and relatively low costs of development imply that the orthophotomap is one of the more important and probably the most popular geo-information technology product. Due to the global application of the orthophotomap as it is particularly evident in case of web geoportals, the quality assessment becomes more and more important. While the geometric quality is relatively easy to assess, it is far more difficult to rate the radiometric quality. The paper emphasises that it is more accurate to employ the term of the photometric quality instead of the radiometric quality in relation to the orthophotomap. In order to prove the thesis, general difference between the radiometry and the photometry was characterised and, in particular, the paper analysed the notions of the radiometric density and of the photometric density. Furthermore, the paper features the concept of the complex definition of the orthophotomap photometric quality. It has been accepted that the orthophotomap photometric quality is the ratio featuring in what way an image (of the specified geometric resolution) complies with a number of conditions defining its usability for the interpretation of the content. Thereafter, individual conditions determining the photometric quality are characterized, specifying each time whether it is possible to assess quantitatively the fulfilment of the given condition.

Dr hab. inż. Krystian Pyka, prof. AGH  
e-mail: krisfoto@agh.edu.pl  
tel. +12 6173826