

## WPLYW WŁASNOŚCI ORTOFOTOMAPY CYFROWEJ NA WYNIKI KLASYFIKACJI OBIEKTOWEJ POKRYCIA TERENU

### THE EFFECT OF ORTOPHOTOMAP PROPERTIES ON THE RESULTS OF OBJECT-BASED CLASSIFICATION OF LAND COVER

Joanna Adamczyk

Wydział Leśny, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

SŁOWA KLUCZOWE: ortofotomapa, trueortho, GEOBIA, analiza obiektowa, klasyfikacja

STRESZCZENIE: Wysokorozdzielcza ortofotomapa lotnicza coraz częściej stosowana jest do wykonywania inwentaryzacji pokrycia terenu. W artykule postawiono tezę, że zadanie to może zostać zrealizowane za pomocą analizy obiektowej obrazów teledetekcyjnych (GEOBIA), jednak wynik zależy od cech jakościowych ortofotomapy, zastosowanej procedury przetworzeń oraz doświadczenia operatora. Za najważniejszy uznano pierwszy z tych czynników i odniesiono się do niego w świetle istniejących polskich wytycznych technicznych. Określono pożądane cechy ortofotomapy, które warunkują jakość wykonanej klasyfikacji obiektowej. W celu omówienia podzielono je na następujące grupy: rozdzielczość przestrzenna, liczba i rodzaj kanałów uczestniczących w procedurach klasyfikacyjnych, dokładność geometryczna i rodzaj ortorektifikacji, cechy fotometryczne, lokalnie występujące błędy. Ich wpływ na procedurę klasyfikacyjną jest dwójaki: mogą one uniemożliwić przeprowadzenie klasyfikacji lub przysporzyć dodatkowej pracy przy poprawianiu jej wyników. Uwzględnienie sformułowanych zaleceń znacznie ułatwi przeprowadzenie klasyfikacji tak wysokorozdzielczego obrazowania.

#### 1. WSTĘP

Cyfrowa ortofotomapa lotnicza stała się bazowym materiałem teledetekcyjnym w Polsce, przede wszystkim przeznaczonym do wykonywania opracowań kartograficznych. Jest ona też podstawą Zintegrowanego Systemu Zarządzania i Kontroli (IACS). Ortofotomapy wykonywane są również dla instytucji zarządzających obszarami nieurbanizowanymi, jak Lasy Państwowe czy Parki Narodowe. Niektóre z nich również korzystają z gotowych ortofotomap dostępnych w Państwowym Zasobie Geodezyjnym i Kartograficznym (PZGIK). W praktyce zakres zastosowania ortofotomapy jest znacznie szerszy niż wynika to z jej wysokiej submetrycznej rozdzielczości i innych parametrów. Jedną z częstych potrzeb jest inwentaryzacja pokrycia terenu.

Wykonanie inwentaryzacji pokrycia terenu drogą interpretacji wizualnej stanowi wyzwanie pod względem czasowym i ekonomicznym. Z tego powodu w długą historię teledetekcji wpisuje się trend zmierzający do wynalezienia zautomatyzowanych metod klasyfikacji obrazów. W tym zakresie wskazuje się na wysoki potencjał analizy obiektowej obrazów teledetekcyjnych (GEOBIA, ang. *Geo-Object Based Image*

*Analysis*) (np. Blaschke, Strobl 2001). Jej przewagę nad innymi technikami stanowi zbliżenie sposobu rozpatrywania terenu reprezentowanego na zobrazeniu do naturalnej percepcji człowieka oraz stworzenie możliwości rozpoznawania klas obiektów na podstawie znacznie większego zakresu cech niż tylko barwa analizowana dla pojedynczych pikseli, jak w tradycyjnych metodach klasyfikacji (Blaschke, Strobl 2001). Efektywność tego rozwiązania zauważono zarówno w publikacjach zagranicznych (np. Hay, Castilla 2008), jak również w polskich (np. Lewiński 2007). Została ona również potwierdzona w rosnącej liczbie zastosowań. Blaschke (2010) stwierdził wzrost liczby artykułów recenzowanych dotyczących tego tematu (od 105 do około 1400 w ciągu 5 lat do 2009 roku). Przedstawione w nich dokładności uzyskiwane za pomocą analizy obiektowej, na przykładzie obszarów leśnych, wynoszą pomiędzy 80÷90% dla obiektów trudnych (gatunki drzew) oraz powyżej 90% dla obiektów łatwiejszych do uzyskania w sposób automatyczny (granica lasu) (Adamczyk 2009). Z tych powodów GEOBIA jest często uważana za rozwiązanie problemu automatycznej klasyfikacji. Jednak, jak podkreśla wielu autorów (np. Hay, Castilla 2006, Blaschke 2010), stwierdzenie to należy traktować z ostrożnością, gdyż jest to metoda stosunkowo młoda i niektóre z zagadnień jej dotyczących są jeszcze w trakcie opracowania. Należy do nich m.in. metodyka klasyfikacji obiektowej na zobrazeniach wysokorozdzielczych, a szczególnie metoda pokonania niejednorodności reprezentowanych obiektów terenowych (Lang 2008).

Jednak spotykane są opinie, że nawet metoda analizy obiektowej nie jest wystarczająco efektywna aby sklasyfikować wysokorozdzielczą ortofotomapę (np. Pyka 2009). Takie przekonanie często powoduje zaniechanie klasyfikacji zautomatyzowanej i prowadzenie interpretacji w sposób wizualny. Czasem też z tego powodu rozdzielczość ortofotomapy przed poddaniem jej klasyfikacji jest sztucznie obniżana. Takie działanie nie jest polecane, gdyż w ten sposób ograniczony zostaje potencjał informacyjny zobrazenia. W niniejszym artykule wykazuje się że przeprowadzenie klasyfikacji ortofotomapy o wysokiej rozdzielczości, choć stanowi złożony proces, jest możliwe. Wymaga to uwzględnienia następujących czynników:

- Najważniejszym z nich jest jakość ortofotomapy – której parametry warunkują realność wykonania zautomatyzowanej klasyfikacji lub ilość koniecznych poprawek. Niniejszy artykuł ma na celu omówienie tego aspektu.
- Istotne jest również zastosowanie odpowiedniej procedury, pozwalającej na poradzenie sobie z niejednorodnością obiektów terenowych odwzorowanych na ortofotomapie. Przegląd służących temu strategii klasyfikacyjnych przedstawił Lang (2008). Najczęściej stosowaną z nich przy inwentaryzacji klas pokrycia terenu, jest budowanie hierarchii warstw zawierających segmentowane zasięgi, mające w efekcie zbudować obiekty odzwierciedlające klasy pokrycia terenu.
- Niebagatelne znaczenie ma również doświadczenie operatora przeprowadzającego klasyfikację, pozwalające na właściwą ocenę efektów segmentacji zobrazenia, jak również na wybór najlepszego wariantu cech obiektów.

Wskazania związane z jakością ortofotomapy są obecne w polskich wytycznych technicznych (Zasady wykonania ortofotomapy w skali 1:10 000 (GGK 2010), Zasady wykonywania prac fotolotniczych (GUGIK 1999)) oraz w innych publikacjach. Większość z nich porusza przede wszystkim aspekty geometryczne. Dużą pomocą w określeniu korzystnych cech fotometrycznych ortofotomapy jest opracowanie Pyki (2009), który

przedstawia zależności wpływające na efekty jej fotointerpretacji. Celem niniejszego artykułu jest odniesienie się do tych wytycznych w kontekście przeprowadzenia możliwie najbardziej zautomatyzowanej klasyfikacji pokrycia terenu. Podjęta została próba nakreślenia na to pozwalających cech jakościowych ortofotomapy cyfrowej.

## 2. TECHNIKA KLASYFIKACJI OBIEKTOWEJ

W niniejszym artykule procedurę klasyfikacji obiektowej omówiono na przykładzie metodyki zaimplementowanej w oprogramowaniu eCognition. Algorytmy zastosowane w programach realizujących całość lub elementy procedury mogą się różnić. Jednak ogólne podejście do klasyfikacji obiektowej nie zmienia się, w związku z tym poniżej omówiony przykład można uznać za reprezentatywny.

Celem klasyfikacji obiektowej jest rozpoznanie obiektów widocznych na zobrazowaniu teledetekcyjnym, bazując na ich kontekście, oraz zakwalifikowanie ich do odpowiednich klas zdefiniowanych przez operatora. Identyfikowane są grupy pikseli posiadające określone znaczenie i na tej podstawie wyznaczane są obiekty. Wykorzystywana jest do tego odporna metoda statystyczna reprezentacji wiedzy człowieka w sieci semantycznej (Blaschke i inni 2006). Jest to wartość dodana w stosunku do tradycyjnych technik klasyfikacji, opierających się na analizie wartości zapisanych w indywidualnych pikselach. Są one oczywiście rozpatrywane poprzez pozyskiwanie z nich informacji o istotnych cechach obiektu tworzących wspomniany kontekst, takich jak m.in. barwa, kształt, tekstura, rozmiar oraz relacje pomiędzy obiektami. Informacja ta może być interpretowana zarówno w sposób jakościowy jak i ilościowy. Podejście takie, wraz z zastosowanymi metodami przetwarzania, jak sekwencyjne segmentacje zobrazowania i klasyfikacja, określane jest przez autorów mianem sieci percepcji (ang. *cognition network*) (Blaschke i inni 2006). W ten sposób technika klasyfikacji obiektowej, zbliżona zostaje do sposobu rozpoznawania treści zobrazowania teledetekcyjnego przez człowieka, który dostrzega na nim obiekty o określonym znaczeniu. Aby zapewnić taką możliwość za pomocą oprogramowania, obiekty opisywane są za pomocą cech, które umożliwiają odróżnienie obiektów należących do innych klas. Etapami metodycznymi klasyfikacji obiektowej w których znaczenie ma jakość materiału teledetekcyjnego są przede wszystkim: segmentacja zobrazowania i klasyfikacja obiektów.

Segmentacja zobrazowania może być prowadzona na zobrazowaniu teledetekcyjnym o jednym lub kilku kanałach. Zestaw danych może zostać również rozszerzony poprzez łączenie danych np. z różnych terminów, oraz wprowadzenie danych tematycznych pozwalających na uzupełnienie zobrazowania o np. obiekty czy cechy trudne do uzyskania za pomocą zdjęcia lotniczego. Procedura segmentacji może zostać przeprowadzona na jednym poziomie dokładności lub wielopoziomowo w celu stworzenia hierarchii zależnych od siebie obiektów tworzących coraz bardziej zgeneralizowane struktury. Zastosowanie takiego podejścia jest bardzo prawdopodobne przy klasyfikacji zobrazowań wysokorozdzielczych, z których uzyskanie klas pokrycia terenu w wyniku pierwszej segmentacji jest trudne. Przykładowym podejściem do segmentacji jest stosowana w oprogramowaniu eCognition procedura Fractal Net Evolution (Baatz i Schäpe 2000). Polega ona na iteracyjnym łączeniu pikseli w grupy, aż do uzyskania obiektów posiadających określone znaczenie. W procedurze tej można modyfikować dwa parametry

definiujące jednorodność wyznaczonych obiektów z punktu widzenia: barwy (wartości zapisanych w pikselach) oraz kształtu.

Maksymalną dozwoloną niejednorodność pikseli określa parametr skali. W kolejnych iteracjach segmentacji zobrazowania piksele wyszukiwane i łączone są ze sobą na podstawie reguły najlepszego dopasowania (ang. *best fitting*) według kryterium jednorodności. Decyzja o połączeniu z pikselem początkowym podejmowana jest dla tego piksela, dla którego zmiana niejednorodności po połączeniu będzie najmniejsza. Drugie kryterium, jakim jest niejednorodność kształtu, określane jest jako relacja pomiędzy zwartością a gładkością granic obiektu. Używane są do tego proste miary kształtów obiektów opierające się na relacji między długością granic obiektu a jego wymiarami.

Wybór najbardziej „prawidłowych” dla różnych zastosowań parametrów segmentacji, należy do zadań badawczych związanych z rozwojem analizy obiektowej (Błaszke 2010). Podobnie jest z oceną jakości segmentacji, która nadal prowadzona jest w sposób wizualny, gdyż nie zostały opracowane metody obiektywne (Hay, Castilla 2006). Wiadomo jednak że przyjęty parametr skali zależy od potrzeb związanych ze szczegółowością wyników (Lang 2008), jak również od własności zobrazowania. Im większa jest rozdzielczość segmentowanych zobrazowań i niejednorodność reprezentowanych na nich obiektów, aby uzyskać obiekty o podobnych rozmiarach trzeba określić większą maksymalną dozwoloną niejednorodność (parametr skali).

Po osiągnięciu możliwie najlepszego wyniku segmentacji wyznaczone obiekty poddawane są klasyfikacji. W tym celu obiekty opisywane są cechami. Istotą ich doboru jest znalezienie takiej ich kompozycji, która pozwoli na najlepsze rozróżnienie obiektów, które mają zostać zakwalifikowane do różnych klas. Klasyfikacja może zostać przeprowadzona za pomocą opisu obiektów ich cechami (reguła decyzyjna) lub przy użyciu metody najbliższego sąsiada (klasyfikacja nadzorowana). W jej ramach wykorzystywane są wzorce klas, którymi są wybrane obiekty. Kryterium klasyfikacyjnym jest możliwie najmniejsza odległość, w  $n$ -wymiarowej przestrzeni cech, pomiędzy obiektami wzorcowymi z różnych klas. W programie eCognition zaimplementowano m.in. charakterystyki: wartości pikseli w obiektach odnoszące się do całego zobrazowania lub warstwy (np. momenty statystyczne), statystyki wartości pikseli w obiektach danej klasy, sąsiedztwo obiektów i pikseli w bliskości określonego obiektu (np. wzdłuż jego granicy), relacja do obiektów znajdujących się wyżej i niżej w hierarchii klas, geometria obiektów (np. kształt, złożoność granicy), tekstura i struktura obiektów (np. wskaźniki oparte na macierzy współwystępowania wartości skali szarości).

### 3. POŻĄDANE CECHY ORTOFOTOMAPY

Wyżej nakreślona metodyka klasyfikacji obiektowej wpływa na potrzeby dotyczące cech ortofotomapy, pożądanych dla uzyskania dobrej jakości wyników. Dotyczą one następujących zagadnień:

- rozdzielczość przestrzenna zobrazowania,
- liczba i rodzaj kanałów uczestniczących w procedurach klasyfikacyjnych,
- dokładność geometryczna ortofotomapy i rodzaj ortorektyfikacji,
- cechy fotometryczne zobrazowania,
- lokalnie występujące błędy.

Każda z tych grup została skomentowana w odniesieniu do istniejących wytycznych w tym zakresie, z punktu widzenia efektywności przetworzeń w zautomatyzowanej procedurze klasyfikacji obiektowej oraz uzyskania jak najlepszego jej wyniku.

Wysoka rozdzielczość przestrzenna zobrazowania, stanowi niewątpliwą zaletę zobrazowania, choć niejednokrotnie pokonanie wspomnianej niejednorodności obiektów wymaga zastosowania specjalnej strategii klasyfikacji. Zawarty w nim większy potencjał informacyjny daje znacznie szerszy wybór dotyczący zastosowań związanych z monitorowaniem stanu środowiska. Na przykład ułatwiona jest kwantyfikacja cech krajobrazu poprzez obliczenie wskaźników ekologicznych. Szczególnie dotyczy to inwentaryzacji istotnych obszarów w skalach szczegółowych oraz reprezentacji granic obiektów terenowych. Ułatwione również jest stosowanie charakterystyk tekstury. Z jednej strony potrzebne są one do rozróżniania obiektów w klasyfikacji, z drugiej wykazują duży potencjał wskaźnikowy dotyczący między innymi różnorodności ekologicznej. Przy umiejętnym zastosowaniu analizy obiektowej na ortofotomapie o możliwie najlepszej jakości, oznacza to również większy potencjał klasyfikacyjny. Co prawda wyższa rozdzielczość zobrazowania powoduje również konieczność przetworzenia większej ilości informacji, jednak istnieją narzędzia pozwalające na pokonanie tego ograniczenia np. tworzenie podprojektów klasyfikowanych według tej samej metodyki.

Z doświadczenia wiadomo, że dobór kanałów zobrazowania wykorzystywanych w klasyfikacji powinien podlegać zasadzie zastosowania informacji możliwie najlepiej rozróżniającej klasy obiektów. W przypadku klasyfikacji pokrycia terenu nieocenioną pomocą są kanały z zakresu podczerwieni oraz uzupełnienie ortofotomapy o numeryczny model pokrycia terenu (NMPT). Można zaryzykować stwierdzenie że w wielu przypadkach te dwa kanały informacyjne mogły by wystarczyć dla wyznaczenia najlepiej widocznych klas. Warto podkreślić, że standardowa ortofotomapa wykonana z kanałów promieniowania widzialnego, jest zobrazowaniem najmniej efektywnym w automatycznej klasyfikacji, ze względu na gorsze możliwości rozróżniania obiektów pokrycia terenu w tych kanałach. Możliwość uzyskania szerszego zestawu kanałów jest powodem dużej liczby opracowań bazujących na klasyfikacji wykonanych na zobrazowaniach satelitarnych.

Dokładność geometryczna ortofotomapy jest tematem szeroko przedstawionym literaturze oraz wytycznych technicznych. W kontekście klasyfikacji obiektowej, czynnik ten związany jest przede wszystkim z jakością segmentacji zobrazowania, która może być co najwyżej tak dobra, jak przyjęta kartometryczność ortofotomapy. Obniżenie jakości segmentacji jest możliwe, gdyż jej rezultat zależy nie tylko od geometrii ale również od cech fotometrycznych zobrazowania, na których bazuje algorytm segmentacji.

Innym istotnym zagadnieniem związanym z geometrią ortofotomapy jest rodzaj zastosowanej ortorektyfikacji. Za minimum warunkujące przeprowadzenie klasyfikacji obiektowej można uznać ortofotomapę wykonaną poprzez odniesienie do wysokości odwzorowanych przez numeryczny model terenu. Taki produkt jest przydatny w klasyfikacji obszarów rolniczych. Jednak, obraz obiektów terenowych o znacznej wysokości jest na nim przesunięty zgodnie z rzutem środkowym źródłowego zdjęcia. Szczególnie dotyczy to obszarów zurbanizowanych i zgodnie z postulatem Preussa (2012) w takich sytuacjach należało by sporządzić prawdziwą ortofotomapę (trueortho). Pozwala ona na uniknięcie wyżej wspomnianych przesunięć, gdyż jest ona wykonywana za pomocą NMPT. Dodatkowo fragmenty zobrazowania występujące poza obszarem widoczności

z jednego miejsca rejestracji są uzupełniane treścią z drugiego zdjęcia je pokrywającego. Z punktu widzenia klasyfikacji pokrycia terenu warto zauważyć, że w obszarach niezurbanizowanych również znajduje się wiele obiektów o znacznej wysokości. Należą do nich szczególnie obszary leśne, dla których często zachodzi konieczność wyznaczenia granicy polno-leśnej, zinwentaryzowania luk, uwzględnienia lokalizacji pojedynczych drzew. Sytuacja dodatkowo komplikuje się gdy ukształtowanie terenu jest zróżnicowane. Do takich przypadków oczywiście należą obszary górskie. Poza nimi można również znaleźć przykłady terenów o znacznych deniwelacjach: pagórkowate obszary morenowe Niziny Polskiej, skarpy brzeżne dolin rzecznych, wąwozy lessowe. Dla takich terenów proponowane jest również wykonywanie prawdziwej ortofotomapy. W ostatnich latach wykonanie takiego produktu jest o tyle łatwiejsze, że w wielu miejscach wykonane zostało skanowanie laserowe z którego można uzyskać NMPT. Z drugiej strony, biorąc pod uwagę powierzchnię obszarów leśnych w Polsce, postulat ten może okazać się trudny do wprowadzenia do standardowej realizacji. Jednak wydaje się że dla szczególnie cennych obszarów, które objęte są precyzyjnym zarządzaniem, opracowania takie znacznie zmieniłyby sytuację inwentaryzacyjną.

Cechy fotometryczne dobrej jakości ortofotomapy podał Pyka (2009), między innymi stwierdzając że nadmierne wyrównywanie barwnie zdjęć lotniczych nie jest polecane. Jednak zautomatyzowana klasyfikacja zróżnicowanego barwnie zobrazowania jest praktycznie niemożliwa do wykonania. Dzieje się tak dlatego że poprawna charakterystyka wszystkich obiektów należących do wyróżnionych klas wymaga ich podobieństwa na całym zobrazowaniu. Dlatego też z punktu widzenia klasyfikacji obiektowej wyrównanie składowych barw oraz kontrastu są jednym z najważniejszych założeń. Z drugiej strony słuszne są wątpliwości dotyczące wpływu takich przetworzeń na jakość zobrazowania i utratę informacji. Dlatego też szczególnie istotne jest wcześniejsze dopilnowanie rejestracji zobrazowań aby takiej sytuacji uniknąć. W przypadku dużych różnic barw na zdjęciach można zastosować regiony w których zobrazowanie klasyfikowane jest według zmienionej metodyki. To ostatnie rozwiązanie przysparza nieco problemów dotyczących: określenia granicy pomiędzy tymi regionami (często nie są one ostre), z ustaleniem metodyki prowadzącej do jednolitych wyników segmentacji dla całego obszaru, z ewentualnym uzgodnieniem styków. Rozwiązanie takie może się okazać bardziej pracochłonne, jednak operacje te można do pewnego stopnia zautomatyzować, a efekt będzie daleko lepszy, niż klasyfikacji wykonanej na nadmiernie wyrównanym zobrazowaniu. Jeżeli różnice barwnie wynikają z mozaikowania różnych zdjęć przydatne może być określenie jego granic i wykorzystanie ich przy podziale na regiony. Istnieją również takie rodzaje różnic w barwach klas obiektów, których trudno uniknąć np. wynikające z różnic w uwilgotnieniu obszarów rolniczych. W tych wypadkach rozwiązaniem jest osobne sklasyfikowanie tych obiektów i późniejsze ich połączenie w jedną klasę.

Zgodnie z obowiązującymi zaleceniami warto zadbać o optymalne wykorzystanie rozdzielczości radiometrycznej zobrazowania oraz właściwie operować jego kontrastem. Dotyczy to zarówno kontrastu całego zobrazowania jak i lokalnego. Właściwy kontrast zobrazowania, podnosi efektywność rozróżniania klas, ich opis może być pełniejszy a szukane odległości pomiędzy ich cechami większe.

Na rezultat segmentacji, jak również na możliwość rozróżnienia klasyfikowanych obiektów, wpływa również technika przepróbkowania zobrazowania. Według m.in. Dikshit i Roy (1996) zależy to od rodzaju informacji (spektralna, teksturalna) wykorzystywanej w obu omawianych etapach klasyfikacji. W przypadku gdy bazuje ona głównie na informacji spektralnej, obniżenie lokalnego kontrastu spowodowane przepróbkowaniem zobrazowania za pomocą metody splotu sześciennego może polepszyć rozróżnienie klas, których odpowiedź spektralna stanie się bardziej jednolita. Jednak innym efektem będzie rozmycie granic pomiędzy klasami, może wpłynąć na efekt segmentacji. Jeżeli do klasyfikacji wykorzystywane są cechy tekstury, rozmycie lokalnego zróżnicowania wartości zapisanych w pikselach często nie jest korzystnym efektem. W takich przypadkach zaleca się interpolację najbliższego sąsiada, bądź dwuliniową. Ta ostatnia metoda wskazywana jest jako rozwiązanie kompromisowe, dodatkowo zapobiegające obniżaniu wizualnej jakości zobrazowania, które występuje po interpolacji najbliższego sąsiada, a także pozwalające na usunięcie ewentualnych szumów w zobrazowaniu.

Przyjętym w wytycznych technicznych K-2.7 (GGK 2010) standardem zapisu ortofotomapy jest rozdzielczość radiometryczna 8 bitów dla każdego z jej kanałów. Jest ona wystarczająca dla większości zastosowań. Empirycznie stwierdzono jednak że w przypadku konieczności przeprowadzenia klasyfikacji trudno rozróżnialnych obiektów np. znalezienia podmokłości w obszarach rolniczych lub rozróżnienia gatunków drzew, możliwość zwiększenia rozdzielczości radiometrycznej zobrazowania przynosi znaczne polepszenie wyników obliczenia odległości pomiędzy cechami. Różnica jest na tyle duża, że w przypadku opisanych powyżej zastosowań, można by zalecić podniesienie standardowej rozdzielczości radiometrycznej zdjęć.

Pomijając walory wizualne, dla efektywności klasyfikacji ogólna kolorystyka ortofotomapy właściwie nie ma znaczenia, istotne jest tylko jej zróżnicowanie. Dzieje się tak dlatego, że przyjęta metodyka klasyfikacji obiektowej opiera się na rozpatrywaniu każdego z kanałów zobrazowania oddzielnie. Oczywistym jest, że indeksowanie barw ortofotomapy nie jest polecane, ze względu bardzo złe efekty pod każdym względem.

Jeżeli automatycznej klasyfikacji ma zostać poddany cały obszar zobrazowania, zdjęcia powinny zostać wykonane w jednym terminie i przy zbliżonych warunkach oświetleniowych. W wytycznych technicznych K-2.7 (GGK 2010) podano zalecenia dotyczące wyboru terminu wykonania zdjęć lotniczych, jednak są one dopasowane do zastosowań związanych z opracowaniem map wielkoskalowych z preferencją dla terenów zurbanizowanych. Zdjęcia z terminów wiosennych, wykonane przed pojawieniem się liści, zasadniczo nie nadają się do klasyfikacji pokrycia terenu. Jednak w przypadku ich posiadania, bardzo korzystne jest wykonanie na nich klasyfikacji takich elementów pokrycia terenu jak drogi i zabudowa, które w sezonie wegetacyjnym zostaną zasłonięte przez korony drzew. Najbardziej korzystny do wykonywania zobrazowań pokrycia terenu jest okres od ostatnich tygodni maja do końca sierpnia (lub początku września), w pełnym ulistnieniu i rozwoju pokrywy roślinnej. Do zapewnienia najlepszej jakości klasyfikacji pokrycia terenu preferowany jest początek tego sezonu. Późniejsze terminy łączą się z ewentualnością występowania suszy, która może zmienić lokalny obraz roślinności (szczególnie trawiastej i zielnej) oraz upraw począwszy od końca lipca lub w sierpniu. Efekt ten jest znacznie mniejszy dla obszarów leśnych, warto jednak wspomnieć, że w miarę postępowania sezonu wegetacyjnego zmiany zachodzą również w aparacie

asymilacyjnym drzew, co szczególnie może wpłynąć na utrudnienie interpretacji zobrazowań spektrostrefowych. Można zatem uznać, że pierwsza połowa sezonu wegetacyjnego jest lepsza dla większości zastosowań. Wyjątkiem są specyficzne techniki wykonywania zdjęć lotniczych np. pod koniec sezonu wegetacyjnego, gdy na zobrazowaniach w barwach naturalnych widoczne są gatunki drzew w różny sposób zmieniające barwę. Można też wyobrazić sobie, że dla użytkownika zobrazowań istotne będzie wyznaczenie obszarów upraw roślin zbożowych, które najlepiej widoczne będą na początku sierpnia. Analiza obiektowa umożliwi łączenie wyników klasyfikacji określonych klas pokrycia terenu wykonanych na zobrazowaniach z różnych terminów, wyżej wymienione informacje mogą być zatem łączone. Warunkiem stworzenia takiej możliwości jest wysoka jakość geometryczna zobrazowań.

Do najczęściej wymienianych rodzajów lokalnych błędów i innych niepożądanych elementów rejestrowanych na ortofotomapie należą chmury i dymy oraz ich cienie obecne na zobrazowaniu, jak również pozostałości mozaikowania zdjęć. Nie poprawione, powodują one powstanie lokalnych obszarów o błędnej klasyfikacji. Z kolei niewłaściwie przeprowadzona ich korekcja, pomimo częściowego polepszenia walorów wizualnych, może utrudnić rozpoznanie klas w całym zobrazowaniu. Jeżeli w jej wyniku powstały lokalne rozmycia i zmiany barwy, efektem jest nieprawidłowa segmentacja tego fragmentu (co można poprawić ręcznie) oraz wpływ na ogólne charakterystyki obiektów należących do tej samej klasy w zobrazowaniu, co może powodować ogólną tendencję do znacznie gorszego rozróżniania klas (jest to znacznie trudniejsze do poprawienia). Dlatego też, w przypadku wystąpienia lokalnych zakłóceń zobrazowania ortofotomapy, lepszym podejściem jest ich pozostawienie i poddanie klasyfikacji, niż zbyt intensywne korygowanie. W praktyce znacznie łatwiejsze jest lokalne poprawienie błędnego wyniku klasyfikacji po jej wykonaniu, niż dopasowanie parametrów automatycznej klasyfikacji do skorygowanego fragmentu tak, aby został on prawidłowo sklasyfikowany wraz z resztą zobrazowania. Fragment ten jest zazwyczaj na tyle podobny do reszty zdjęcia, że zdecydowane odróżnienie go od obiektów w tej samej klasie, w celu wyznaczenia klasy obiektów błędnych, jest bardzo trudne.

Innym zagadnieniem, rzadziej poruszonym w wytycznych dotyczących przygotowania ortofotomapy, są cienie wysokich obiektów wynikające z niskiego położenia słońca oświetlającego teren. Jest to temat trudny, gdyż występowanie cieni na zobrazowaniu w każdym przypadku wiąże się z koniecznością ręcznego poprawiania wynikowej klasyfikacji. Automatyczne rozpoznanie zasłoniętych klas pokrycia terenu nie jest możliwe nawet przy wspomaganym numerycznym modelem pokrycia terenu. Z drugiej strony próba uniknięcia występowania cieni wiąże się ze znacznym ograniczeniem zakresu najlepszych terminów rejestracji zobrazowania, co może spowodować wątpliwości dotyczące sensu ich wykonywania. Potencjalnie najlepszymi zobrazowaniami które mogą zostać sklasyfikowane automatycznie są zdjęcia tzw. „bezcieniowe” rejestrowane w sytuacji całkowitego zachmurzenia o pułapie wyższym niż wysokość lotu. Jednak ich zastosowanie jest oczywistym kompromisem, ograniczającym kolorystykę zobrazowań. Jeżeli z kolei zdjęcia miałyby zostać rejestrowane przy pełnym oświetleniu słonecznym, niestety nie sprawdzą się wskazania zawarte w wytycznych K-2.7 (GGK 2010), gdzie zaleca się wykonywanie zdjęć przy pozycji słońca co najmniej  $30^{\circ}$  nad horyzontem dla obszarów miejskich i górskich oraz  $25^{\circ}$  dla innych obszarów. Niestety cienie rejestrowane w takich



warunkach są dość długie. W polskich szerokościach geograficznych trudno jest jednak o wykonanie zdjęć w bardzo wysokim położeniu słońca. Na przykład jeżeli sformułowane zostało by zalecenie, żeby był to kąt przynajmniej  $45^{\circ}$  poprawa będzie istotna, ale jedynie częściowa. Warunek ten byłby dość surowy, gdyż ograniczałby sezon fotolotniczy do miesięcy maj-sierpień oraz do jedynie w środkowej części dnia (w miesiącach: krańcowych dla tego okresu w godz. 10-14, a w środkowych 9-16). Nie wydaje się zatem celowym określenie granicznej wartości liczbowej. Mimo to proponuje się, żeby wybór możliwie najwyższego położenia słońca był jednym z najważniejszych czynników wpływających na termin wykonania zobrazowania.

#### 4. PODSUMOWANIE

Jak widać z wyżej nakreślonych warunków, zautomatyzowana klasyfikacja to wymagająca metoda, szczególnie w odniesieniu do zdjęć wysokorozdzielczych. Niektóre z podanych warunków są trudne do dotrzymania, ze względu na ograniczenia techniczno organizacyjne (jak optymalny termin rejestracji zdjęć), czy z powodu kosztów (jak przygotowanie prawdziwej ortofotomapy). Jednak powyższe określenie tych warunków ma znaczenie dla lepszego zrozumienia zależności związanych z wykorzystaniem tak łatwo dostępnego materiału jak ortofotomapa, które dla wielu instytucji nie będzie się wiązało z ponoszeniem dodatkowych kosztów związanych z np. zakupem zobrazowań satelitarnych. O ile ortofotomapa nie została wykonana z zachowaniem omówionych zaleceń, jej klasyfikacja będzie wymagała poświęcenia dodatkowego czasu oraz kosztów związanych z wykonywaniem dodatkowych przetworzeń oraz zaangażowaniem człowieka w ewentualne ręczne poprawienie błędów. Autorka wyraża nadzieję że wyżej wymienione uwarunkowania pomogą takie koszty oszacować. W większości przypadków dla ostatnio zaktualizowanych ortofotomap dostępnych w PZGIK i prezentowanych w Geoportalu.gov.pl, koszty ewentualnego poprawienia automatycznej klasyfikacji powinny być niższe niż związane z zakupem innego zobrazowania, którego zastosowanie mogło by pozwolić na uniknięcie większości wyżej wspomnianych niedogodności.

#### 5. LITERATURA

- Adamczyk J., 2009. Analiza obiektowa w leśnictwie. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej*. R.11, Zeszyt 2 (21).  
[http://cepl.sggw.pl/sim/pdf/sim21\\_pdf/140\\_sim21.pdf](http://cepl.sggw.pl/sim/pdf/sim21_pdf/140_sim21.pdf)
- Baatz M. Schaepe A., 2000. Multiresolution Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. [W:] Strobl J. (red.). *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII*. Wichmann, Heidelberg, s. 12-23.
- Blaschke T., 2010. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Volume 65, Issue 1, s. 2-16.
- Blaschke T., Strobl J., 2001. What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. [W:] *GIS - Zeitschrift für Geoinformationssysteme*, 6, s. 12-17.
- Blaschke T., Tiede D., Lang S., 2006. An object-based information extraction methodology incorporating a-priori spatial information. *Proceedings 4th Conference on Image Information Mining*. ESA-EUSC, Madrid, s. 28.

Dikshit O., Roy D.P., 1996, An Empirical Investigation of Image Resampling Effects Upon the Spectral and Textural Supervised Classification of a High Spatial Resolution Multispectral Image, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 62, No. 9, September 1996, s. 1085-1092.

GGK 2010, Główny Geodeta Kraju, *Zasady wykonywania ortofotomap w skali 1:10 000, wytyczne techniczne*. Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa.

GUGIK, 1999. Główny Urząd Geodezji i Kartografii. *Zasady wykonywania prac fotolotniczych*. Warszawa.

Hay G.J., Castilla G.C., 2006. Object-Based Image Analysis: strengths, weaknesses, opportunities and threats (SWOT). [W:] Bridging Remote Sensing and GIS: International Symposium on Object-based Image Analysis, 4-5 July, 2006, Salzburg. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*. Com VI, WG VI/4, s. 5.

Lang S., 2008. Object-based Image Analysis for Remote Sensing: modeling reality – dealing with complexity. [W:] Blaschke T., Lang S., Hay G.. *Object-Based Image Analysis: Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*. Springer, s 3-25.

Lewiński S., 2007. *Obiektowa klasyfikacja zdjęć satelitarnych jako metoda pozyskiwania informacji o pokryciu i użytkowaniu ziemi*. Instytut Geodezji i Kartografii.

Preuss R., 2012. Georeferencyjne dane obrazowe. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Vol. 23, s. 337–346.

Pyka K., 2009. Jak ocenić jakość fotometryczną ortofotomapy? *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Vol. 19, s. 363-372.

## THE EFFECT OF ORTOPHOTOMAP PROPERTIES ON THE RESULTS OF OBJECT-BASED CLASSIFICATION OF LAND COVER

KEY WORDS: ortophotomap, trueortho, GEOBIA, image classification

### Summary

High resolution ortophotomap is frequently used for land cover inventory. The paper presents conditions under which the task of automated image classification can be accomplished using Geo-Object Image Analysis (GEOBIA): the ortophotomap quality, applied processing procedure, and operators experience. The first of them was recognized as most important and compared to the existing polish technical guidelines regarding the quality of the ortophotomap. The desired features of the remote sensing material were presented according to the following fields: spatial resolution of imagery, number and type of image bands used for classification procedure, geometrical accuracy, the type of orthorectification procedure, photometric properties, local errors. The recommendations are addressed for facilitating the object-based classification of high resolution orthophotomap. They are useful for planning the organizational issues of the aerial flight to acquire images used for land cover inventory. The presented guidelines are also useful for assessing the cost of the possible correction of the obtained land cover classification, if the recommendations cannot be met.

Dane autora:

Dr Joanna Adamczyk  
e-mail: Joanna.Adamczyk@wl.sggw.pl  
telefon: +48 22 593 82 16