

IDENTYFIKACJA ZBIORNIKÓW WODNYCH, JAKO OBIEKTÓW BDOT10K, W ZBIORZE DANYCH LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO Z WYKORZYSTANIEM ALGORYTMU ALPHA SHAPE

Małgorzata Mendela, Andrzej Borkowski

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Lotnicze skanery laserowe (ALS) wykorzystują najczęściej wiązkę światła z zakresu bliskiej podczerwieni, która absorbowana jest przez wodę. Powoduje to występowanie pustych obszarów (brak odbić promienia laserowego), pozbawionych punktów, w zbiorze danych skaningu laserowego. Detekcja konturów zbiorników wodnych w zbiorze danych skaningu laserowego może być zatem rozumiana jako identyfikacja obrysu obszarów pozbawionych punktów. Tak rozumiana detekcja zbiorników może być wykorzystana do aktualizacji i zasilania Bazy Danych Obiektów Topograficznych 1:10 000 (BDOT10k). Do detekcji zbiorników wodnych wykorzystano w pracy współrzędne x , y punktów klasy grunt, uprzednio sklasyfikowanej chmury punktów, o gęstości nominalnej 4 pkt/m². Automatyczną identyfikację konturu zbiornika wykonano z wykorzystaniem algorytmu α -shape. Eksperymenty numeryczne wykonano dla 16 zestawów danych testowych (zbiorników wodnych). Ocenę dokładności identyfikacji konturów wykonano na podstawie porównania z ortofotomapą cyfrową o terenowej wielkości piksela 0,10 m. Na podstawie pomierzonych maksymalnych wartości odchyłek stwierdzono, że przeciętnie zbiorniki wodne zostały zidentyfikowane w 95%, a dla 62% obiektów testowych zidentyfikowano kontur ze 100% skutecznością. Ponadto wykorzystany algorytm posiada pewien mechanizm odpornościowy – eliminuje pojedyncze przypadkowe punkty na powierzchni zbiornika. Zaproponowana metoda może stanowić dodatkowe źródło zasilania BDOT, zwłaszcza dla zbiorników wodnych, których brzeg porośnięty jest roślinnością i trudno identyfikowalny na ortofotomapie.

Słowa kluczowe: lotniczy skaningu laserowy, BDOT10k, alpha shape, ekstrakcja, zbiornik wodny

WSTĘP

Lotniczy skaniny laserowy (ALS) wykorzystywany jest w pierwszej kolejności do pozyskiwania informacji o ukształtowaniu topograficznej powierzchni terenu, zwłaszcza na terenach trudno dostępnych. Technika ta zdominowała w ostatnich latach niemal bez wyjątku wszystkie inne techniki pozyskiwania danych na potrzeby budowy Numerycznych Modeli Terenu (NMT). Wraz ze wzrostem gęstości i dokładności skanowania dane ALS wykorzystywane są również coraz częściej do modelowania elementów geometrycznych przestrzeni. W pierwszej kolejności dane te wykorzystywane są do budowy trójwymiarowych numerycznych modeli zabudowy. Przegląd metod i możliwości zastosowania danych ALS można znaleźć w pracy [Vosselman i Maas 2010]. W publikacji [Borkowski i Józków 2012] pokazano, że na podstawie danych skanowania laserowego można zbudować model 3D budynku z dokładnością na poziomie dokładności pomiarów geodezyjnych.

Ponieważ fale elektromagnetyczne z zakresu bliskiej podczerwieni, a takie emitowane są przez lasery w systemach ALS, pochłaniane są przez wodę, w zbiorach danych (chmura punktów) występują puste obszary (luki, martwe pola) pozbawione punktów na obszarach pokrytych wodą. Fakt ten można wykorzystać do identyfikacji obrysu zbiorników wodnych. Tuż przy granicy zbiornika wodnego zarejestrowane będą punkty będące echem wiązki laserowej odbitej od powierzchni terenu. Łącząc te punkty, otrzymamy obrys zbiornika wodnego. Tak wyznaczona granica będzie oczywiście pewnym przybliżeniem (generalizacją) rzeczywistego kształtu zbiornika. Stopień generalizacji zależy w pierwszej kolejności od gęstości chmury punktów (gęstości skanowania). Ponieważ Baza Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k) zawiera dane o obiektach topograficznych o dokładności odpowiadającej mapie topograficznej w skali 1:10 000, a więc również w pewnym stopniu zgeneralizowane, wydaje się, że możliwości techniczne obecnych systemów ALS i praktyka skanowania pozwalają wyznaczyć, w opisany sposób, granicę zbiornika wodnego z wystarczającą dokładnością.

Problematyka identyfikacji zbiorników wodnych w zbiorze danych teledetekcyjnych znajduje szerokie odzwierciedlenie w literaturze. Dotyczy to przede wszystkim zobrazowań optycznych i danych radarowych SAR [Nath i Deb 2010, Wang i Zhu 2010, Xie i in. 2008]. W odniesieniu do danych ALS można również znaleźć nieliczne prace dotyczące kartowania obszarów wodnych, aczkolwiek nie związane z aktualizacją topograficznych baz danych. Hoefle i in. [2009] wykorzystali dane ALS do identyfikacji granicy pomiędzy wodą a lądem na przykładzie wybranych rzek w Austrii. Nośnikiem informacji w tym celu była zarówno obecność punktów, jak i intensywność odbicia promienia laserowego. Autorzy, w pierwszym kroku, uzupełnili metodą interpolacji brakujące punkty na obszarach wodnych, nadając im jednocześnie zerową intensywność, następnie wykonali segmentację zbioru danych metodą rosnących regionów oraz przeprowadzili klasyfikację obiektową. Ostatecznie granica konturu wodnego została określona w wyniku interpolacji jako granica pomiędzy obiektami sklasyfikowanymi jako powierzchnia wody i powierzchnia terenu. Steuer i in. [2011] przedstawili wstępną wersję algorytmu bazującego na triangulacji Delaunay punktów skaningu. Na obszarach wodnych, gdzie brak punktów skaningu, długości boków Delaunay będą istotnie większe niż na pozostałych obszarach. Usunięcie długich boków triangulacji prowadzi do wyizolowania obszarów zbiorników wodnych. Zhang i in. [2010] wykorzystali metodę rosnących regionów i algorytmy morfologiczne

do ekstrakcji konturów obiektów wodnych ze zdjęć lotniczych wspartych wartościami intensywności z chmury punktów ALS. Ulepszoną wersję tego algorytmu zaprezentowano w pracy [Wu et al. 2013], gdzie zastosowano dane ALS zintegrowane ze zdjęciami lotniczymi do identyfikacji obszarów wodnych, z wykorzystaniem metod klasyfikacji. Osiągnięto dokładność identyfikacji granicy obszarów wodnych na poziomie 0,4 m.

Punkty ze zbioru danych ALS, będące kandydatami na punkty wyznaczające granicę zbiornika, mogą być wybrane i połączone na różne sposoby. Najprostszym podejściem będzie utworzenie otoczki wypukłej (*convex hull*). Ten sposób może być jednak całkowicie błędny w przypadku zbiorników niebędących obiektami wypukłymi. Z tego powodu, w niniejszej pracy, do identyfikacji konturu zbiornika wodnego wykorzystany zostanie algorytm *alpha shape* będący uogólnieniem otoczki wypukłej. Algorytm ten zostanie poddany testom na rzeczywistych danych ALS pod kątem skuteczności wyznaczenia konturu zbiornika wodnego jako obiektu BDOT10k. Zakładamy przy tym, że do identyfikacji obrysu zbiornika wodnego wykorzystywane są tylko dane skaningu laserowego, bez dodatkowych informacji. Ocena poprawności identyfikacji wykonana będzie na podstawie porównania otrzymanych konturów z kształtem zbiornika widocznym na ortofotomapie.

ZBIORNIKI WODNE W BAZIE DANYCH OBIEKTÓW TOPOGRAFICZNYCH

1. Reprezentacja zbiorników wodnych w BDOT10k

BDOT10k jest georeferencyjną bazą danych, zawierającą dane o obiektach topograficznych, o dokładności odpowiadającej mapie topograficznej w skali 1:10 000, określone w państwowym układzie współrzędnych płaskich prostokątnych „1992” [Berus i in. 2012].

Bazę BDOT10k cechuje trójpoziomowa systematyka, co oznacza klasyfikację obiektów na trzech poziomach szczegółowości z oznaczeniami kodowymi, służącymi zapewnieniu jednoznacznej wymiany danych między różnymi systemami [1,2]. Baza ta składa się łącznie z 9 kategorii klas obiektów, 57 klas obiektów i 285 obiektów. Zbiorniki wodne zaliczane są do kategorii pokrycie terenu (PT), klasy obiektów woda powierzchniowa (OT_PTWP_A) i obiektów woda stojąca (PTWP03). Reprezentacją geometryczną wszystkich obiektów klasy OT_PTWP_A jest krawędź. Zbiorniki wodne przedstawiane są jako obszar wyznaczony przez linię brzegową będącą granicą lustra wody i lądu, określoną przy normalnym poziomie wody. Obiekty te wprowadzane są do bazy, jeśli spełniają wymogi kryterium ilościowego, to znaczy szerokości ≥ 5 m i powierzchni ≥ 80 m². W przypadku gdy zbiorniki wodne zawierają wyspy, elementów tych nie przedstawia się w klasie OT_PTWP_A, lecz innych tej samej kategorii. Podobnie postępuje się z niewielkimi sztucznymi zbiornikami wodnymi (np. osadniki, zbiorniki przeciwpożarowe).

Dokładność reprezentacji geometrycznej obiektów BDOT10k została zdefiniowana poprzez wymogi dotyczące:

- minimalnej odległości pomiędzy dwoma dowolnymi werteksami linii równej 2 m, z możliwością odstępstwa od tego warunku (pozyskiwanie obiektów z zewnętrznych rejestrów o większej szczegółowości lub mniejsza odległość uzasadniona potrzebą prawidłowego odwzorowania kształtu obiektu);
- dokładności zapisu współrzędnych werteksów na poziomie 1 cm [4].

Dzięki temu zapewniona jest taka sama dokładność opisu geometrycznego wszystkich obiektów bazy danych.

2. Pozyskiwanie danych do BDOT10k

BDOT10k zasilana jest danymi pochodzącymi z rejestrów publicznych, zgodnych z rozporządzeniem [1], to znaczy takich, których struktura jest właściwa dla BDOT10k:

- dostępnych w Państwowym Zasobie Geodezyjnym i Kartograficznym (PZGiK), w tym między innymi Bazy Danych Obiektów Topograficznych o szczegółowości zapewniającej tworzenie standardowych opracowań kartograficznych w skalach 1:500–1:5000 (BDOT500), bazy Ewidencji Gruntów i Budynków (EGiB) i Geodezyjnej Sieci Uzbrojenia Terenu (GESUT);
- prowadzonych przez inne organy i instytucje, np. bazy: TERYT, Centralnego Rejestru Form Ochrony Przyrody, Państwowego Rejestru Muzeów [Marmol i Buczek 2013].

Szczegółowy wykaz dopuszczalnych źródeł danych geometrycznych i atrybutowych obiektów gromadzonych w BDOT10k zawiera załącznik do Rozporządzenia [3].

Rejestrem referencyjnym dla BDOT10k w zakresie sieci wodnej jest Mapa Podziału Hydrograficznego Polski (MPHP), prowadzona przez Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej i Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW). Mapa ta została utworzona na podstawie wojskowych map topograficznych w skali 1:50 000. Z tego powodu jej dokładność geometryczna nie jest zgodna z BDOT10k. W związku z tym dane geometryczne o obiektach hydrograficznych, w tym zbiornikach wodnych, pozyskuje się głównie z aktualnej ortofotomapy [Marmol i Buczek 2013].

Do zachowania prawidłowego topograficznego opisu terenu, jak również spełnienia podstawowej funkcji tej bazy, to znaczy udostępniania danych na potrzeby specjalistycznych systemów informacji przestrzennej czy systemów produkcji map topograficznych i tematycznych, niezbędna jest aktualność danych zawartych w BDOT10k. Zgodnie z założeniem BDOT10k zarówno zasilanie, jak i aktualizacja bazy odbywają się na podstawie danych zawartych w wymienionych powyżej rejestrach referencyjnych, niezwłocznie po uzyskaniu nowych danych [1]. W celu zapewnienia integralności i wysokiej jakości danych pozyskiwanych z rejestrów źródłowych dane weryfikuje się i wnikliwie kontroluje z wykorzystaniem mechanizmów Krajowego Systemu Zarządzania Bazą Danych Obiektów Topograficznych (KSZBDOT). Poziomą jakość danych BDOT10k określony jest na podstawie wyników automatycznych kontroli technicznej, przeprowadzonych na zbiorach danych wszystkich kategoriach klas obiektów w poszczególnych powiatach lub ich reprezentatywnych próbkach, rejestrowanych w magazynach systemu. Ponadto bierze się pod uwagę wyniki kontroli kameralnych i terenowych. Przyjęte kryteria kontroli jakości, określone w szablonie kontroli, są zgodne z treścią Rozporządzenia, w szczególności w zakresie dopuszczalnej odchyłki kryteriów ilościowych, zdefiniowanych w Rozporządzeniu [1] dla poszczególnych kategorii klas obiektów jak również ich poprawności geometrycznej, pozwalającej zachować jednakową dokładność reprezentacji geometrycznej wszystkich obiektów BDOT10k. Procedura aktualizacji danych jest uruchomiona na podstawie informacji o rozkładzie i liczbie występujących błędów w zbiorach danych. O inicjalizacji aktualizacji decyduje data najstarszego obiektu w zbiorze [Bielawski 2013]. Aktualizację BDOT10k należy postrzegać jako działalność o charakterze ciągłym, systemowym i kompleksowym.

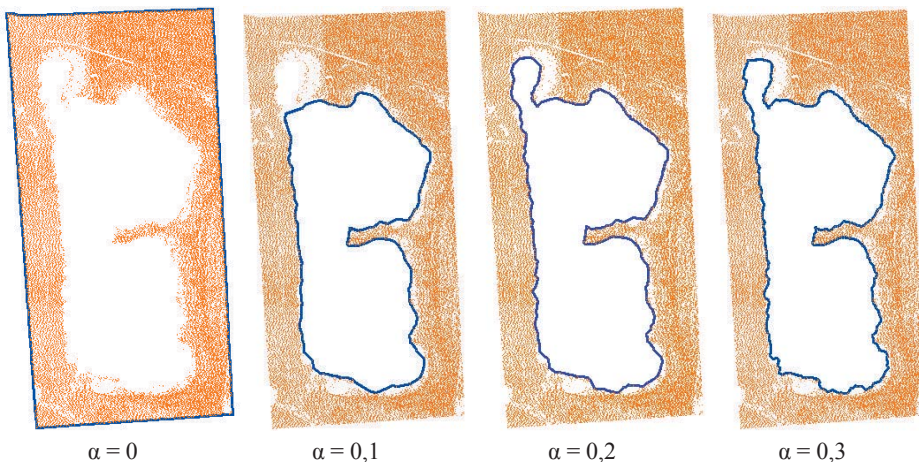
Z powyższych informacji wynika, że nie ma przeszkód, aby wykorzystać dane ALS do identyfikacji zbiorników wodnych jako obiektów BDOT10k, zarówno na etapie pozyskiwania danych, kontroli, jak i aktualizacji bazy danych. Dodatkowym argumentem jest fakt, że dane ALS dostępne są dla znacznej części powierzchni kraju. Dane te zostały pozyskane bądź będą pozyskane w najbliższym czasie w ramach programu ISOK [Kowalski 2013], natomiast rozdzielczość skanowania powinna w zupełności spełniać wymogi dokładnościowe reprezentowania obiektów klasy woda powierzchniowa w bazie.

ALGORYTM ALPHA SHAPE

Model otoczki alpha (α -hull), będący uogólnieniem otoczki wypukłej (*convex hull*), został wprowadzony w pracy [Edelsbrunner i in. 1983], jako sposób opisu kształtu zbioru punktów na płaszczyźnie R^2 . Granica tego zbioru, opisanego za pomocą otoczki alpha, nazywana jest alpha shape (α -shape).

Definicja: Niech będzie dany skończony zbiór punktów $S \in R^2$. Dowolny punkt $p \in S$ jest punktem skrajnym w sensie α , jeśli istnieje pewien pusty dysk D o promieniu $1/\alpha$, niezawierający żadnego punktu z S z wyjątkiem punktu p na obrzeżu tego dysku. Dwa punkty skrajne $p, q \in S$ nazywane są punktami sąsiednimi w sensie α , jeśli leżą na obrzeżu tego samego dysku D . α -shape jest poligonem składającym się z prostoliniowych połączeń punktów sąsiednich.

Parametr α , odpowiadający promieniowi dysku D , jest kluczowy w przypadku konstrukcji poligonu otaczającego zbiór punktów S . W zależności od wartości tego parametru krawędź zbioru S odtworzona jest z większą lub mniejszą szczegółowością. W szczególności dla $\alpha = 0$ otrzymujemy otoczkę wypukłą zbioru. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowo poziom poprawności rozpoznania zbiornika o skomplikowanym kształcie w zależności od wartości parametru α .



Rys. 1. Rozpoznanie kształtu zbiornika w zależności od wartości parametru α , z wykorzystaniem algorytmu α -shape

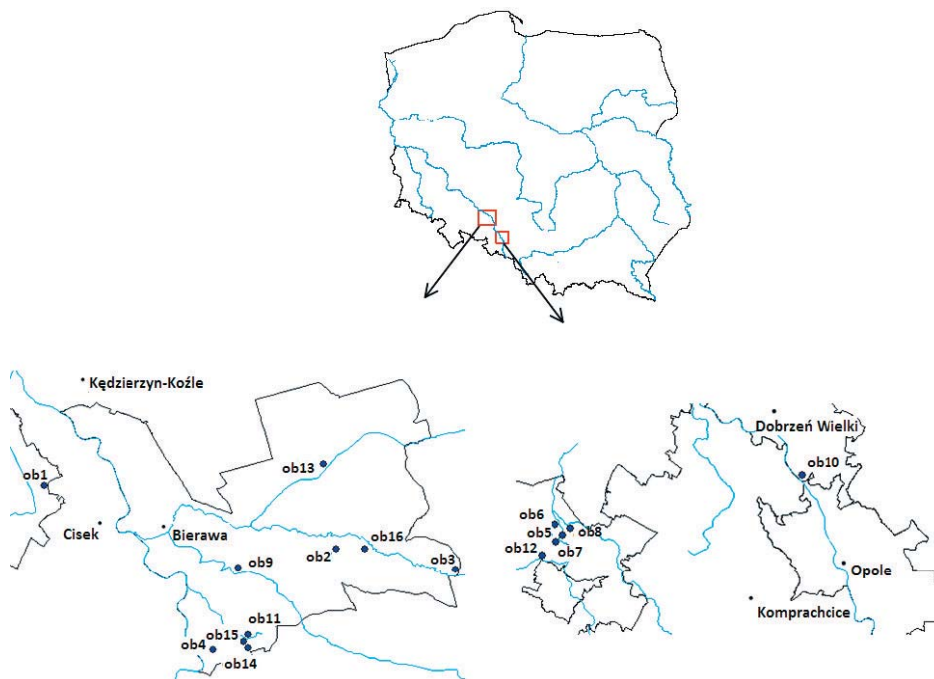
Fig. 1. Results of the shape identification of water body depending on parameter α , by means of α -shape algorithm

W niniejszej pracy, do identyfikacji obrysu zbiorników wodnych, wykorzystano zmodyfikowaną implementację algorytmu w środowisku Matlab [Mathworks 2013] realizującą algorytm *α -shape*, z wykorzystaniem triangulacji Delaunay.

DANE TESTOWE

Badania eksperymentalne w niniejszej pracy przeprowadzono z wykorzystaniem danych lotniczego skaningu laserowego pozyskanych w ramach projektu ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju, <http://www.isok.gov.pl>). Do identyfikacji zbiorników wodnych zastosowano sklasyfikowaną chmurę punktów o gęstości nominalnej 4 pkt/m². Jest to najniższa rozdzielczość chmury punktów pozyskiwanych w ramach projektu ISOK, dla obszarów pozamiejskich. Dokładność planarna danych (sumaryczny średni błąd kwadratowy RMSE_{XY}) nie powinna być gorsza niż 0,5 m, a dokładność wysokościowa nie gorsza niż 0,15 m.

Testy numeryczne wykonano łącznie dla 16 zbiorników wodnych, naturalnych i sztucznych, zlokalizowanych w dwóch powiatach województwa opolskiego – kędzierzyńsko-kozielskim i opolskim. Lokalizacje obiektów testowych przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Lokalizacja obiektów testowych
Fig. 2. The location of the test sites

Na rysunku 3 przedstawiono jeden z obiektów testowych. Należy zwrócić uwagę, że południowo-wschodnia i wschodnia część brzegu zbiornika jest w znacznym stopniu porośnięta roślinnością. Drzewa i krzewy przesłaniają linię brzegową i utrudniają jej poprawną identyfikację na ortoobrazie. Równocześnie w tym samym czasie pozyskane dane lotniczego skaningu laserowego zawierają dostatecznie dużo punktów będących odbiciami od powierzchni terenu, które pozwalają na jednoznaczną identyfikację krawędzi zbiornika (rys. 3). Należy stwierdzić, że obiekty porośnięte roślinnością stanowią mniejszość wśród obiektów testowych. Wybierano przede wszystkim zbiorniki o wyraźnym, jednoznacznie identyfikowalnym przebiegu linii brzegowej na ortofotomapie (zdjęciach), bowiem porównanie kształtu zbiornika na ortofotomapie z kształtem otrzymanym na podstawie danych skaningu laserowego było podstawą oceny skuteczności identyfikacji linii brzegowej zbiorników wodnych.



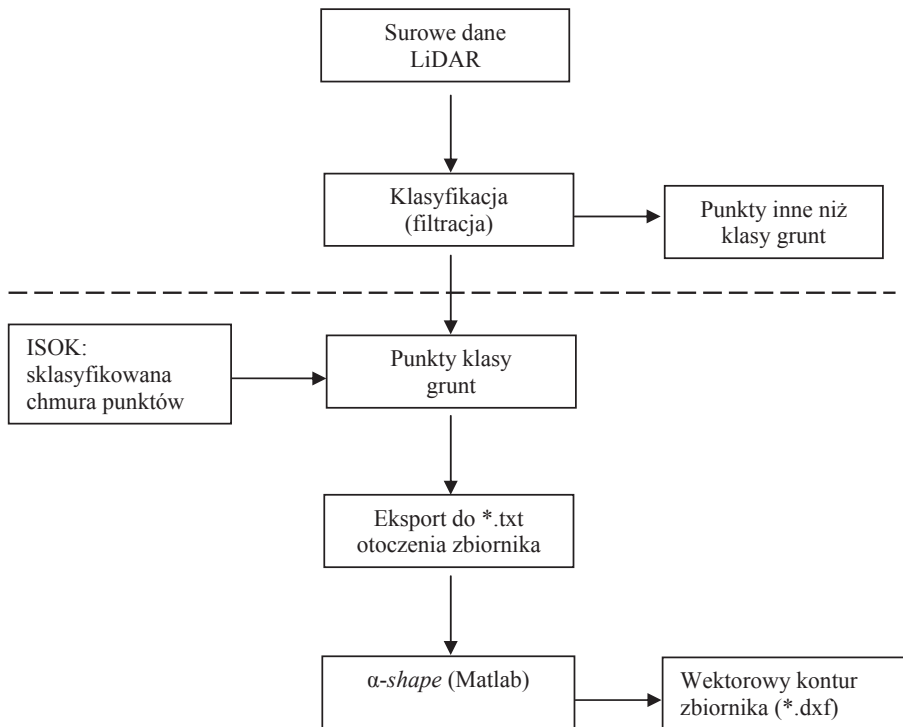
Rys. 3. Obiekt testowy ob8 (vide tab. 1): ortofotomapa (po lewej) i punkty klasy grunt chmury punktów lotniczego skaningu laserowego (po prawej)

Fig. 3. Test object ob8 (vide tab. 1): orthophoto (left) and ground points of the LiDAR point cloud (right)

AUTOMATYCZNA IDENTYFIKACJA OBIEKTÓW I WERYFIKACJA

Linie brzegową zbiorników wodnych wyznaczono jako granicę pomiędzy obszarem pozbawionym punktów (odbicie promienia laserowego) a obszarem, gdzie takie odbicia występują. Z chmury punktów wykorzystano tylko współrzędne x , y punktów klasy grunt (punkty sklasyfikowane jako odbicia od powierzchni terenu). Przebieg prac przedstawiono schematycznie na rysunku 4. Surowe dane lotniczego skaningu laserowego muszą być poddane klasyfikacji, celem wyodrębnienia punktów będących odbiciami od powierzchni terenu (klasa grunt). W naszym przypadku punkty klasy grunt zostały przejęte bezpośrednio z danych ISOK.

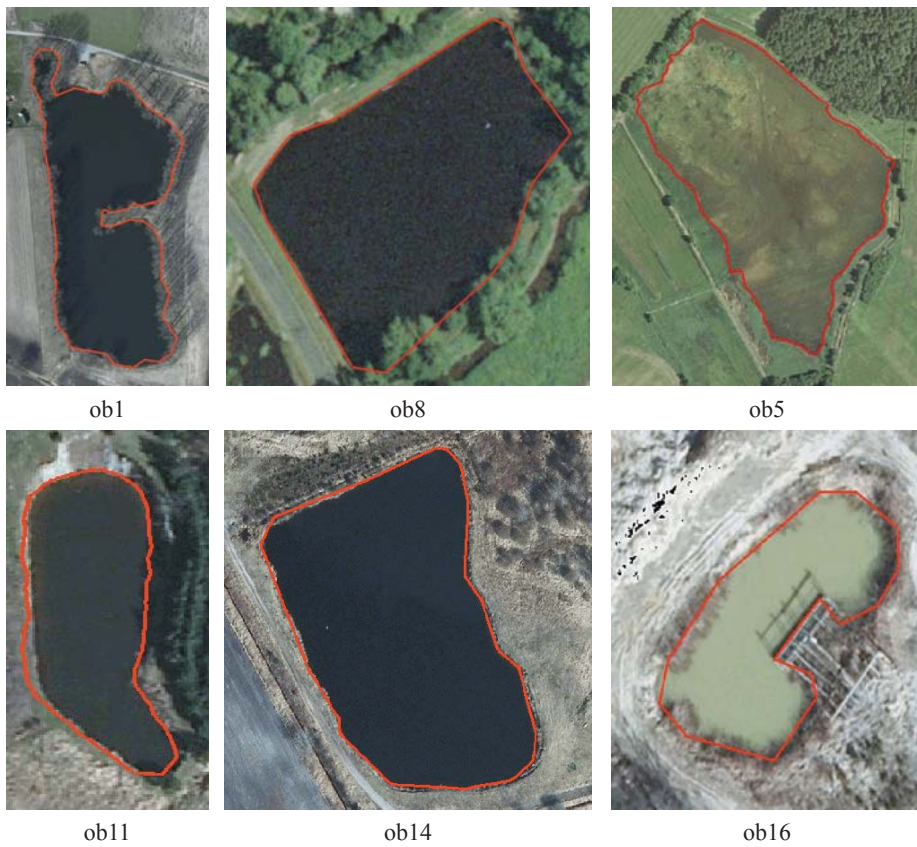
W wyniku realizacji algorytmu otrzymuje się wektorowy model konturu zbiornika wodnego.



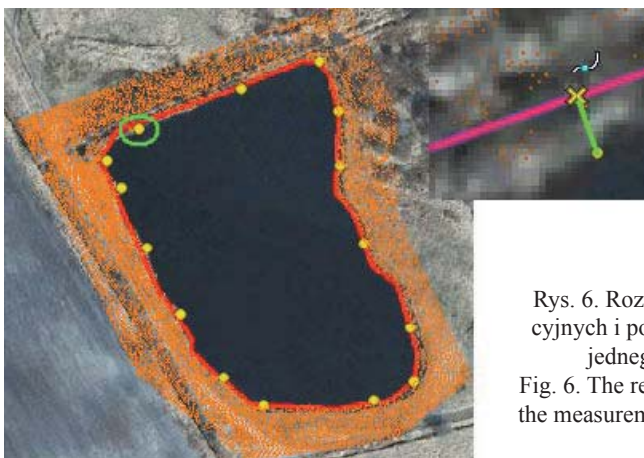
Rys. 4. Schemat identyfikacji zbiornika wodnego
Fig. 4. Workflow for water body recognition

Wartość parametru α , optymalna z punktu widzenia poprawności identyfikacji konturu, została ustalona eksperymentalnie, w zależności od kształtu obiektu. Dla zbiorników regularnych $\alpha = 0,1$ natomiast dla zbiorników nieregularnych (cyple, wklęsłości) i wydłużonych $\alpha = 0,2$ (por. tab. 1). Rozważania teoretyczne dotyczące wyboru parametru α można znaleźć w pracy [Mandal i Murthy 1997]. Przykładowe wyniki identyfikacji zbiorników wodnych przedstawiono na tle ortofotomapy na rysunku 5.

Z rysunku tego wynika duża zgodność konturu zbiornika wyznaczonego na podstawie danych skaningu laserowego z obrysem zbiornika widocznym na ortofotomapie. Aby dokonać oceny ilościowej tej zgodności, wykonano pomiary odchyłek pomiędzy konturem wygenerowanym a widocznym na ortofotomapie. Odchyłki pomierzono w 15 równomiernie rozmieszczonych punktach konturu, w których brzeg zbiornika nie był przesłonięty przez drzewa i jednocześnie wizualnie oceniono odchyłki jako największe, pomiędzy konturem wygenerowanym a widocznym na ortofotomapie. Wartości dopuszczalnych odchyłek identyfikacji obiektów przyjęto zgodnie ze standardami technicznymi wykonywania geodezyjnego pomiaru sytuacyjnego [5] (§ 29), z pominięciem błędu pomiaru odległości na ortofotomapie cyfrowej o rozdzielczość terenową piksela na poziomie 10 cm. Jako maksymalną dopuszczalną wartość odchyłki przyjęto 3 m dla zbiorników sztucznych oraz 5 m dla zbiorników naturalnych. Rozmieszczenie punktów referencyjnych, na jednym z obiektów testowych, i sposób pomiaru odchyłek zilustrowano na rysunku 6.



Rys. 5. Wybrane przykłady identyfikacji zbiorników na tle ortofotomapy
 Fig. 5. Selected examples of identified water bodies with orthophoto in background



Rys. 6. Rozmieszczenie punktów referencyjnych i pomiar odchyłek na przykładzie jednego z obiektów testowych
 Fig. 6. The reference points' distribution and the measurement of deviations for one of the testing objects

Wyniki oceny ilościowej poprawności identyfikacji zbiorników wodnych przedstawiono w tabeli 1. Zamieszczone w tabeli błędy średniokwadratowe (RMSE) odchyłek obliczone zostały względem wartości średniej odchyłek, natomiast skuteczność rozpoznania obiektu (w %) obliczona została jako stosunek liczby pomierzonych odchyłek o wartościach nieprzekraczających wartości dopuszczalnej do całkowitej liczby pomierzonych odchyłek dla danego zbiornika. Odchyłki należy rozumieć jako odległości bezwzględne pomiędzy rozpoznanym obrzeżem obiektu a obrzeżem obiektu zidentyfikowanym na ortofotomapie.

Tabela 1. Skuteczność rozpoznania zbiorników wodnych za pomocą algorytmu α -shape
Table 1. The effectiveness of water bodies identification with the α -shape algorithm

Nr obiektu	Rodzaj obiektu	Kształt obiektu	Skuteczność rozpoznania obiektu [%]	Wartość średnia odchyłek [M]	Błąd średni (rmse) [M]	α
ob1	sztuczny	nieregularny	100	0,76	0,49	0,2
ob2	sztuczny	wydłużony	80	1,77	1,62	0,2
ob3	sztuczny	regularny	87	1,88	1,41	0,1
ob4	sztuczny	nieregularny	100	1,86	0,65	0,2
ob5	sztuczny	nieregularny	93	3,02	0,95	0,2
ob6	sztuczny	regularny	100	1,35	0,68	0,1
ob7	sztuczny	nieregularny	87	2,57	2,33	0,2
ob8	sztuczny	regularny	100	1,33	0,60	0,1
ob9	sztuczny	nieregularny	93	1,87	1,05	0,2
ob10	naturalny	wydłużony	100	0,90	0,64	0,2
ob11	sztuczny	regularny	100	0,69	0,28	0,1
ob12	sztuczny	regularny	100	1,36	0,57	0,1
ob13	sztuczny	wydłużony	87	2,09	1,55	0,2
ob14	sztuczny	regularny	100	1,11	0,47	0,1
ob15	sztuczny	wydłużony	100	0,92	0,57	0,2
ob16	naturalny	nieregularny	100	0,73	0,48	0,2

Wielkość próby losowej wykorzystanej do oszacowania odchyłek zweryfikowano za pomocą dwustopniowej metody Steina [Sobczyk 2002], która pozwala określić minimalną liczebność próby potrzebną do oszacowania wartości średniej, przy założeniu rozkładu normalnego z nieznaną wariancją. Jako próbę wstępną wykorzystano wyniki pomiaru dla obiektu ob7, dla którego oszacowano odchylenie standardowe $\hat{s} = 2,42$ m. Następnie obliczono liczebność właściwej próby, zgodnie z zależnością, $n = t_{\alpha, n-1}^2 \hat{s}^2 / d^2$, gdzie $t_{\alpha, n-1}$ jest statystyką Studenta. Zakładając $d = 3$ m (dokładność dla zbiorników technicznych) oraz $\alpha = 0,01$, otrzymano $n = 6$. Przyjęta zatem do dalszych prac wartość 15 próbek jest wystarczająca do prawidłowego oszacowania wartości średniej odchyłek.

Z wartości zestawionych w tabeli wynika, że około 62% obiektów zostało rozpoznanych ze 100% skutecznością. Nie widać związku pomiędzy kształtem zbiornika a poziomem skuteczności rozpoznania kształtu tego zbiornika. Niższa skuteczność rozpoznania wynika tylko z gorszej jakości danych źródłowych, zarówno niższej gęstości chmury punktów, jak i niższej jakości ortofotomapy bądź trudności interpretacyjnych. Spadek skuteczności nie jest spowodowany przesunięciem czasowym pomiędzy wykonaniem zdjęć a skanowaniem laserowym, gdyż obydwie zbiory danych pozyskano w tym samym okresie. Na uwagę zasługuje fakt, że niższą skuteczność zanotowano dla obiektów wydłużonych o nieregularnym kształcie (np. ob2, ob13) oraz zawierających elementy o zróżnicowanej geometrii, np. wklęsłości, zatoczki, cyple (ob9, ob7). W grupie obiektów o niższej skuteczności rozpoznania zwraca uwagę obiekt ob5 charakteryzujący się największą wartością średnią odchyłek. Bliższa analiza tego obiektu wykazała, że zbiornik podlega procesowi wypłykania i zarastania roślinnością zarówno na obrzeżach, jak i wewnątrz.

PODSUMOWANIE

W wyniku eksperymentów numerycznych, których celem była weryfikacja możliwości identyfikacji zbiorników wodnych, jako obszarów pustych w zbiorze danych lotniczego skaningu laserowego, można stwierdzić, że algorytm *α -shape* jest narzędziem skutecznym do tego celu. Algorytm jest stosunkowo prosty i łatwy w automatyzacji, sterowany tylko jednym parametrem, co ułatwia dopasowanie *α -shape* do rzeczywistego kształtu zbiornika, a jednocześnie posiada pewien mechanizm odpornościowy. Pojedyncze punkty krańcowe, np. przypadkowe odbicia od lustra wody, są eliminowane.

Średnią skuteczność rozpoznania obiektów można ocenić na poziomie 95%, a dla 62% obiektów ich kształt rozpoznano na podstawie danych skaningu laserowego ze 100% skutecznością. Czynnikiem decydującym jest jakość (gęstość) danych lotniczego skaningu laserowego. Spadek skuteczności zanotowano dla obiektów o skomplikowanej linii brzegowej i podlegających procesowi sukcesji roślinności.

Otrzymane rezultaty wskazują na to, że lotniczy skaningu laserowy powinien być brany pod uwagę co najmniej jako dodatkowe źródło danych do zasilania bądź aktualizacji BDOT10k informacją o zbiornikach wodnych. Zalety skaningu laserowego są szczególnie widoczne w przypadku zbiorników, których brzeg porośnięty jest gęstą roślinnością i trudno jednoznacznie identyfikowalny na ortofotomapie. Dodatkowo, w tej propozycji, należy zwrócić uwagę na swego rodzaju sprzężenie zwrotne pomiędzy ISOK a BDOT10k: dane lotniczego skaningu laserowego, służące do aktualizacji BDOT10k, pozyskiwane są w ramach projektu ISOK, natomiast BDOT10k jest jednym ze źródeł danych niezbędnych do funkcjonowania ISOK.

Wydaje się, że dalszą poprawę skuteczności rozpoznania kształtu zbiorników wodnych można osiągnąć, łącząc odbywa źródła danych: lotniczy skaningu laserowy i ortofotomapę. Zagadnienie to będzie przedmiotem dalszych badań autorów.

PIŚMIENICTWO

- Berus T., Bielawski B., Kowalski P., Olszewski R., Pilich- Kolipińska A., 2012. Koncepcja systemu rozpowszechniania i wymiany wiedzy o georeferencyjnej bazie danych. *Roczniki Geomatyki*, Tom X, Zeszyt 3(53), 27–36.
- Bielawski B., 2013. Krajowy system zarządzania bazą danych obiektów topograficznych (KSZB-DOT) [w:] Olszewski R., Gotlib D., Rola bazy danych obiektów topograficznych w tworzeniu infrastruktury informacji przestrzennej w Polsce, Warszawa. Główny Urząd Geodezji i Kartografii.
- Borkowski A., Jóźków G., 2012. Accuracy Assessment of Building Models Created from Laser Scanning Data. *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XXXIX-B3, 253–258.
- Edelsbrunner H., Krikpatrick D.G., Seidel R., 1983. On the shape of a set of points in a plane. *IEEE Trans. Inform. Theory*, IT-29, 551–559.
- Hoefle B., Vetter M., Pfeifer N., Mandlburger G., 2009. Water Surface Mapping from Airborne Laser Scanning Using Signal Intensity and Elevation Data. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 34, 1635–1649.
- Kowalski M., 2013. Zastosowanie technologii lotniczego skaningu laserowego na przykładzie projektu Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami (ISOK). *Przegląd Geodezyjny*, LXXXV, Nr 11, 9–12.
- Mandal D.P., Murthy C.A., 1997. Selection of alpha for alpha-hull in R^2 . *Pattern Recognition*, vol. 30, No 10, 1759–1767.
- Marmol A., Buczek A., 2013. Tworzenie i aktualizacja BDOT10k – źródła danych geometrycznych i opisowych [w:] Olszewski R., Gotlib D., Rola bazy danych obiektów topograficznych w tworzeniu infrastruktury informacji przestrzennej w Polsce, Warszawa. Główny Urząd Geodezji i Kartografii.
- Mathworks, 2013. <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/28851-alpha-shapes>, funkcja *alphavol.m*, autor Jonasa Lundgren (dostęp 20.12.2013).
- Nath R.K., Deb S.K., 2010. Water-Body Area Extraction from High Resolution Satellite Images- An Introduction, Review, and Comparison. *International Journal of Image Processing (IJIP)*, vol. 3(6), 353–372.
- Sobczyk M., 2002. *Statystyka*. PWN Warszawa.
- Steuer H., Schäffler U., Gross A., 2011. Detection of standing water bodies in LiDAR data. *Proceedings of Earth Observations of Global Changes EOGC 2011, Munich*, 1–4.
- Vosselman G., Maas, H-G., 2010. *Airborne and terrestrial laser scanning*. Whittles Publishing, Dunbeath.
- Wang K., Zhu Y., 2010. Recognition of water bodies from remotely sensed imagery by using neural network. *International Journal of Image Processing*, vol. 3(6), 265–384.
- Wu H., Liu Ch., Zhang Y., Sun W., Li W., 2013. Building a water feature extraction model by integrating areal image and lidar point clouds. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 34, DOI: 10.1080/01431161.2013.823674
- Zhang Y., Wu L., Lin W., Zhao J., 2010. Automatic water body extraction based on Lidar data and areal images. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, vol. 35, 936–940.
- Xie Ch., Zhang J., Huang G., Zhao Z., Wang J., 2008. Water Body Information Extraction from High Resolution Airborne SAR Image with Technique of Imaging in Different Directions and Object-Oriented. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 37, 165–168.

Akty prawne i standardy

- [1] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji, dnia 17 listopada 2011 r. w sprawie bazy danych obiektów topograficznych oraz bazy danych obiektów ogólnogeograficznych, a także standardowych opracowań kartograficznych (Dz.U. Nr 279, Poz. 1642).
- [2] Załącznik nr 2 do Rozporządzenia – Klasyfikacja obiektów na trzech poziomach szczegółowości z oznaczeniami kodowymi.
- [3] Załącznik nr 3 do Rozporządzenia – Schemat aplikacyjny UML oraz schemat GML baz danych BDOT10k i BDOO.
- [4] Załącznik nr 4 do Rozporządzenia – Wytyczne dotyczące wprowadzania obiektów do BDOT10k.
- [5] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego (Dz.U. Nr 263, Poz. 1572).

THE IDENTIFICATION OF WATER BODIES AS BDOT10K OBJECTS IN A LASER SCANNING POINT CLOUD BY MEANS OF AN ALPHA-SHAPED ALGORITHM

Abstract. Airborne laser scanners (ALS) usually rely on a near-infrared light beam which is absorbed by water. This produces empty areas with no points in the LiDAR dataset (gaps, laser shot dropouts). Detecting the boundaries of bodies of water in a LiDAR dataset can thus be seen as the identification of boundaries of empty areas. The method for the identification of water bodies could be used to update and supply the Database of Topographic Objects (BDOT10k). The x, y co-ordinates of ground laser points of the previously classified LiDAR point cloud of the 4 points/m² nominal density were used to detect bodies of water. The automatic identification of bodies of water was performed by the means of an α -shaped algorithm. Numerical experiments were conducted for 16 tested sites, which were bodies of water. The accuracy of boundary identification was evaluated by comparing the results with those seen on orthophotos with a pixel size of 0.10 m. Based on the maximum deviation values of the measured results, it has been shown that bodies of water were identified on average with 95% accuracy and the boundaries of 62% of the tested sites were delineated with 100% efficiency. Furthermore, the studied algorithm has a featured mechanism that enables it to eliminate single, random points distributed on the surface of a body of water. The proposed method can be used as an additional source of BDOT10k, especially for bodies of water whose banks are covered with vegetation which are difficult to identify on orthophotos.

Key words: airborne laser scanning, Database of Topographic Objects (BDOT10k), α -shaped, boundary detection, body of water



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Publikacja współfinansowana ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.12.2013

Do cytowania – For citation: Mendela M., Borkowski A., 2013. Identyfikacja zbiorników wodnych, jako obiektów BDOT10K, w zbiorze danych lotniczego skaningu laserowego z wykorzystaniem algorytmu alpha shape. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.*, 12 (4), 13–26.