

Przydatność danych lidarowych do zwiększenia potencjału informacyjnego bazy danych topograficznych w klasie „drzewo”

LiDAR data for increasing the informational potential of topographical database in case of “tree” features

Żaneta PIASECKA

Instytut Badawczy Leśnictwa
Zakład Geomatyki
Sękocin Stary
ul. Braci Leśnej nr 3
05-090 Raszyn
z.piasecka@ibles.waw.pl

Joanna PLUTO-KOSSAKOWSKA

Politechnika Warszawska, Wydział Geodezji i Kartografii
Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej
Pl. Politechniki 1
00-661 Warszawa
joanna.kossakowska@pw.edu.pl

Streszczenie

Celem artykułu jest przedstawienie możliwości aktualizacji Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k) oraz zaprezentowanie koncepcji pozyskania dodatkowych danych w celu zasilenia, a tym samym zwiększenia potencjału informacyjnego bazy danych. Koncepcja aktualizacji, jak i pozyskania dodatkowych danych polega na wykorzystaniu chmury punktów pozyskanej za pomocą lotniczego skanowania laserowego. Dokonano przeglądu literatury z zakresu aktualizacji baz danych, głównie BDOT10k, a także z zakresu systemu LiDAR i metod ekstrakcji obiektów z chmury punktów. W badaniach przeprowadzono detekcję pojedynczych drzew metodą automatyczną w oprogramowaniu ENVI LiDAR wraz z oceną dokładności. Obiekty będące wynikiem ekstrakcji w ENVI LiDAR porównano z drzewami występującymi na badanym obszarze testowym. Problemem przy identyfikacji drzew było określenie optymalnego parametru minimalnej wartości promienia korony drzewa. Przedstawiono możliwość edycji w celu wyeliminowania błędów i przygotowania klasy obiektów „drzewo” oraz jej atrybutów do zasilenia BDOT10k. W artykule przedstawiono również możliwości aktualizacji wybranych obiektów bazy na podstawie chmury punktów, a także podjęto dyskusję na temat potrzeby zasilenia bazy obiektami typu „pojedyncze drzewo”. Badania będące przedmiotem artykułu mają znaczenie dla późniejszej możliwości konwersji tak bogatej informacyjnie bazy do postaci 3D, w celu stworzenia trójwymiarowych modeli miast. Uzyskane wyniki potwierdzają przydatność danych LiDARowych do aktualizacji i pozyskiwania dodatkowych obiektów z dobrą skutecznością. Napotkane problemy i wyniki automatycznej detekcji udowadniają, że obiekty pozyskane zaproponowaną metodą wymagają manualnej edycji. W ramach badań, oprócz detekcji i ekstrakcji obiektów, zaproponowano modyfikację schematu aplikacyjnego dla klasy obiektów „obiekty inne”, w przypadku zasilenia jej pojedynczymi drzewami.

Abstract

The subject of this paper is to present the possibility of updating of selected object class in topographical database (BDOT10k) and to present the concept of obtaining additional data in order to supply and thereby increase the potential of the database in case of "tree" features. The object "tree" detection and extraction are based on the point cloud set obtained by airborne laser scanning (LiDAR). A literature review in the field of topographical database updating, mainly BDOT10k, and the methods of object extraction from the point cloud was performed. The extraction of individual trees was carried out by an automated method in ENVI LiDAR software. The accuracy assessment of tree objects extraction was made based on actual state of trees (field measurement). The main problem with trees extracting was determination of the optimum parameter of tree crowns radius. In order to eliminate errors and to prepare layers and attributes, the possibility of editing and detection improvement was presented. The discussion of database updating possibility and necessity based on point cloud in case of "tree" features was presented.

The research undertaken is important for the subsequent conversion of such information-rich database to 3D in order to create three-dimensional models of cities. The obtained results confirm the usefulness of LiDAR data for updating and obtaining "tree" objects with good efficiency. However, problems that were encountered and results of extraction prove that objects which are obtained by proposed automatic method require manual intervention. As part of the research, it was proposed to modify the application scheme for the „other objects” features in case of individual trees.

Keywords: BDOT10k, LiDAR, tree detection, 3D model, database updating.

Słowa kluczowe: BDOT10k, LiDAR, detekcja drzew, model 3D, aktualizacja bazy danych.

Wprowadzenie

Baza Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k) obejmująca obszar całej Polski stanowi zbiór danych referencyjnych obiektów topograficznych o dokładności odpowiadającej mapie topograficznej w skali 1:10000, który jest wykorzystywany do zasilania różnych systemów informacji geograficznej (GIS). BDOT10k zakłada prowadzenie bazy danych dwuwymiarowych (2D) z możliwością ich połączenia z zasobem numerycznego modelu terenu (NMT), otrzymując model 2,5D. Dwuwymiarowy sposób przekazu informacji jest jednak mniej intuicyjny dla odbiorcy niż model trójwymiarowy (3D). Podczas gdy baza 2D oddziela informację sytuacyjną od wysokościowej, model 3D odzwierciedla ludzką percepcję rzeczywistości. Postęp technologiczny sprawia, że systemy informacji geograficznej rozwijane są w kierunku trzeciego wymiaru (GIS 3D) zarówno w zakresie pozyskiwania danych, jak i ich przetwarzania czy wizualizacji.

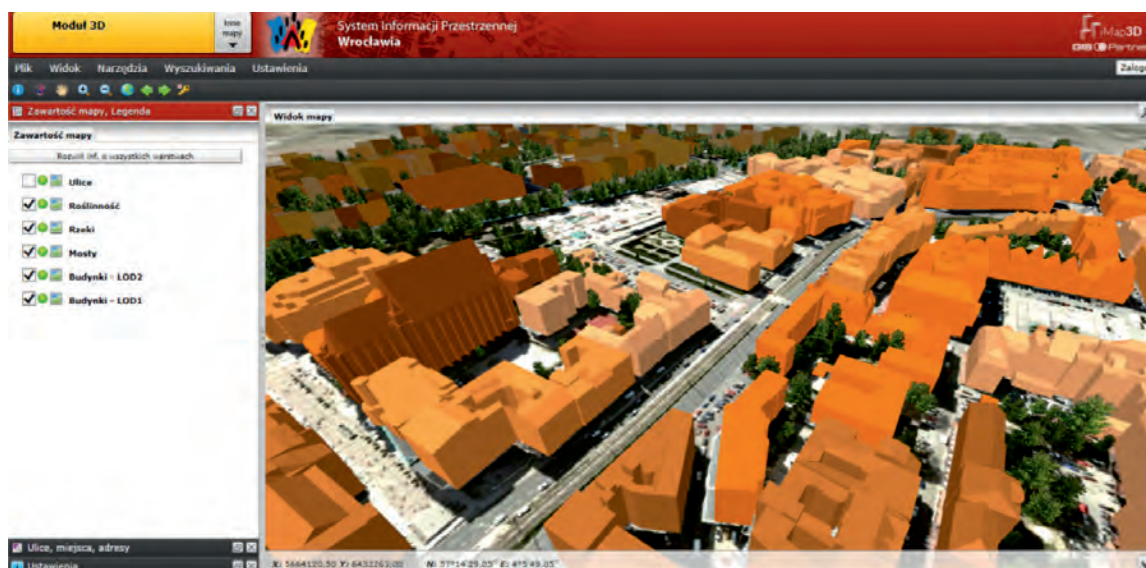
Zgromadzone w Państwowym Zasobie Geodezyjnym i Kartograficznym bogate zbiory danych umożliwiają rozwój BDOT10k w kierunku 3D. Szczególnie przydatne są dane z lotniczego skanowania laserowego, pozyskane w ramach projektu ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami), które umożliwiają pozyskanie informacji 3D o obiektach topograficznych.

Obecnie w kategorii obiektów „obiekty inne” znajduje się klasa obiektów „drzewo lub grupa drzew”. Zgodnie z przepisami, w tej kategorii znajdują się obiekty mniej istotne z punktu widzenia BDOT10k, mają jedynie znaczenie orientacyjne w terenie. Według rozporządzenia (pkt 5.1 §74) nie gromadzi się danych o drzewach na terenie miast (MSWiA 2011). Aby odzwierciedlić faktyczny stan danego miejsca, szczególnie w modelu 3D, w wielu analizach nie należy pomijać takiego obiektu. Patrząc z perspektywy potrzeb miast i obszarów intensywnie zabudowanych, drzewo jako

obiekt staje się istotnym elementem w jego przestrzeni. Pojedyncze drzewo będzie stanowiło znaczący obiekt z punktu widzenia planowania przestrzennego czy ochrony istniejących zasobów zieleni. Drzewa w modelu 3D miasta będą pełniły istotną rolę z punktu widzenia przeprowadzanych analiz przestrzennych, np. analizy cieni, analizy zadrzewienia przestrzeni miejskiej, analizy widoczności itd.

Wrocław jest przykładem miasta, które posiada zaimplementowany moduł 3D w funkcjonującym Systemie Informacji Przestrzennej. Model 3D ma charakter uproszczony i opiera się głównie na automatycznej klasyfikacji i generalizacji danych. Jednak w efekcie model obejmuje obszar całego miasta, a nie tylko wybranych jego fragmentów. Model 3D Wrocławia został przygotowany w oparciu o dane lotniczego skaningu laserowego pozyskane w ramach projektu ISOK oraz o dane z pomiarów LiDARowych i wektoryzacji wykonanych w 2006 roku w ramach realizacji projektu Wrocławski Publiczny SIP. Model zawiera warstwy LoD1 oraz LoD2 dla budynków znajdujących się w ścisłym centrum oraz tych najbardziej charakterystycznych, np. Hala Ludowa (ryc. 1). Przykład wrocławskiego modelu pokazuje możliwość i istotność wprowadzenia drzew jako istotnych elementów przestrzeni miejskiej.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie możliwości aktualizacji i zwiększenia potencjału informacyjnego Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k) o klasę obiektów „drzew”, z wykorzystaniem danych lotniczego skaningu laserowego. Głównym zamysłem jest przedstawienie koncepcji zasilania BDOT10k takimi danymi, które pozwolą na rozwój bazy w kierunku 3D. Ponadto oceniono przydatność danych LiDARowych zarówno w procesie aktualizacji danych bazy, jak i zasilania jej nowymi danymi. W pracy zaprezentowano i oceniono automatyczne metody ekstrakcji obiektów z chmury punktów. Podjęto również próbę uzupełnienia bazy BDOT10k o nowy obiekt – pojedyncze drzewo.



Ryc. 1. System Informacji Przestrzennej Wrocławia (źródło: <http://gis.um.wroc.pl/imap3d/>)

Fig. 1. Wrocław Spatial Information System (source: <http://gis.um.wroc.pl/imap3d/>)

Wykorzystanie danych LiDAR do aktualizacji baz danych przestrzennych

Chmura punktów o znanych współrzędnych przestrzennych (X, Y, Z) jest podstawowym produktem lotniczego skanowania laserowego. Oprócz współrzędnych, które stanowią miejsca odbić promieni lasera od napotkanych obiektów terenowych, rejestrowane mogą być również intensywność odbicia impulsu oraz kolejne echa sygnału. Na sposób odbicia promieniowania lasera od napotkanych przeszkód ma wpływ rodzaj ich powierzchni oraz struktura wewnętrzna. Promieniowanie może być całkowicie odbijane (od gładkich powierzchni) lub całkowicie pochłonięte (np. przez wodę w zakresie bliskiej podczerwieni) (Bandyopadhyay, Aardt, Cawse-Nicholson 2013).

Gęstą chmurę punktów (do kilkudziesięciu punktów na 1 m²) można analizować praktycznie bez żadnego wstępnego przetworzenia, wyświetlając surowe dane. W przypadku wizualizacji, stosowany jest często proces nadania chmurze punktów ALS atrybutów RGB pochodzących ze zdjęć lotniczych lub ortofotomap. Od kilku lat zauważa się znaczne zainteresowanie danymi pomiarowymi z lotniczego skanowania laserowego, jako cenne źródło danych do aktualizacji baz danych (geometrycznych i atrybutowych).

Możliwość takiego wykorzystania danych LiDARowych przedstawiono na przykładzie bazy danych SILP – System Informatyczny Lasów Państwowych (Wężyk, Szostak, Tompalski 2010). System ten stosowany jest w Lasach Państwowych od ponad 25 lat i jest standardem we wszystkich 431 nadleśnictwach. W jednym z jego modułów (LAS) zawarta jest baza szczegółowych danych opisowych, dotyczących każdego z 8 milionów pododdziałów będących w administracji PGL LP. Możliwe jest połączenie tablic SILP/LAS z bazą geometryczną, tj. Leśną Mapą Numeryczną (LMN) poprzez wykonanie relacji w oprogramowaniu GIS. Integracja tych dwóch baz tworzy poprawną topologicznie warstwę przestrzenną (pod-

oddziałów), która zawiera wiele atrybutów pochodzących z leśnej inwentaryzacji, a także z planu urządzenia lasu. Obie bazy powinny być okresowo aktualizowane. Do tej pory było to wykonywane na podstawie danych zebranych podczas pomiarów terenowych (np. GPS) lub na podstawie dostępnych zobrazowań (głównie ortofotomapy lotnicze). W publikacji Wężyka, Szostak, Tompalskiego (2010) opisano metodę implementacji danych pozyskanych w ramach ALS, dzięki zautomatyzowanej procedurze aktualizacji granic pododdziałów (zasięgów obiektów podstawowych LMN), jak również przeprowadzono weryfikację atrybutu wysokości drzewostanów, zapisanego w bazie SILP. Aktualizację przebiegu granic warstwy wektorowej pododdziałów przeprowadzono wykorzystując modele generowane z chmury punktów ALS oraz na obrazie cyfrowej ortofotomapy. Aktualizacja atrybutowej bazy SILP została przeprowadzona dla powierzchni pododdziału z wyłączeniem luk. Wysokość drzewostanu została określona dla całej powierzchni pododdziału na podstawie analizy chmury punktów ALS – 95 percentyl. Celem tych badań było wykazanie przydatności danych LiDARowych do aktualizacji baz danych, a uzyskane wyniki były satysfakcjonujące (Wężyk, Szostak, Tompalski 2010).

Innym przykładem wykorzystania danych LiDAR do detekcji obiektów topograficznych jest algorytm umożliwiający identyfikację zbiorników wodnych, które są obiektem występującym w bazie BDOT10k. Mendela i Borkowski (2013) podjęli próbę oceny przydatności danych LiDARowych do aktualizacji tych obiektów w bazie danych BDOT10k. Jako dane testowe wykorzystano dane lotniczego skaningu laserowego pozyskane w ramach projektu ISOK. Była to sklasyfikowana chmura punktów o gęstości 4 punkty na 1 m². Testy przeprowadzono dla 16 zbiorników wodnych (naturalnych i sztucznych). W innej pracy tej samej autorki (Mendela 2013) poruszono szerzej kwestie przydatności danych LiDARowych do tworzenia baz danych topogra-

ficznych oraz skuteczności wybranych algorytmów pozwalających na identyfikację obiektów topograficznych w chmurze punktów LiDAR. W referacie oceniono możliwości zastosowania danych LiDARowych na potrzeby aktualizacji BDOT10k. Prace eksperymentalne polegały na wykorzystaniu kilku algorytmów, m.in. Concave Hull (oparty na triangulacji Delaunay'a) oraz Snake (Aktywny Kontur) pozwalających na ekstrakcję obiektów takich, jak woda stojąca, szklarnie, napowietrzne linie energetyczne z chmury punktów. Dokładność rozpoznawania obiektów podano dla wody stojącej. Skuteczność w przypadku algorytmu Snake wynosiła 91%, natomiast dla Concave Hull 87%.

Od kilku lat pojawiają się publikacje poruszające kwestie tworzenia baz danych topograficznych 3D. Urszula Cisło-Lesicka omawia w swoich pracach pozyskiwanie danych 3D w celu zasilenia bazy 2D, podejmuje próby opracowania symboli 3D dla potencjalnej trójwymiarowej bazy, jak również przedstawia koncepcję takiej bazy. W swoich pracach wskazuje na dane lotniczego skaningu laserowego jako źródło danych do opracowania trójwymiarowej bazy danych przestrzennych. Propozycja trójwymiarowej wielorozdzielczej bazy danych topograficznych obejmuje dodatkowy moduł (TBD 3D), który ma umożliwić trójwymiarową wizualizację i analizy przestrzenne (Cisło 2008). W kolejnej publikacji Cisło-Lesickiej (2013), autorka przedstawiła swoje spostrzeżenia w odniesieniu do obecnie funkcjonującej Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k). Po raz kolejny podkreśla ważną zaletę istnienia bazy 3D, ze względu na jej trójwymiarowy sposób przekazu, który dla odbiorcy jest bardziej oczywisty, bo odzwierciedla ludzką percepcję świata rzeczywistego (Cisło-Lesicka 2013).

Metodyka prac badawczych

Celem podjętych prac badawczych było wykazanie możliwości wykorzystania danych skaningu lotniczego do detekcji obiektów typu „drzewo” w sposób zautomaty-

zowany, bez wspomaganie się innymi danymi i aktualizacji bazy danych topograficznych BDOT10k. Prace testowe przeprowadzono na części obszaru miasta Warszawa z wysoką zabudową i dość licznym drzewostanem wśród budynków. W części metodycznej zaproponowano także zmiany w schemacie aplikacyjnym UML dla obiektów przyrodniczych. Do prac eksperymentalnych wykorzystano oprogramowanie ENVI LiDAR oraz pakiet ArcGIS.

Charakterystyka danych i obszaru badań

Do ekstrakcji obiektów będących przedmiotem badań wykorzystano dane pochodzące z lotniczego skaningu laserowego pozyskane w ramach projektu ISOK. Dane występowały w postaci plików binarnych zapisanych zgodnie ze standardem 1.2. Klasy punktów w chmurze wydzielone zostały zgodnie z formatem LAS. Zgodnie ze specyfikacją danych poprawność wstępnej klasyfikacji szacowana jest na nie mniejszą niż 95%. Gęstość punktów wynosiła 12 pkt na 1 m² (obszar miejski), błąd średni wysokości zawiera się w przedziale od 0,2 m. Aktualność danych ze skaningu to rok 2012. Dodatkowe zbiory danych jak BDOT10k oraz ortofotomapę wykorzystano jako dane referencyjne do oceny dokładności otrzymanych rezultatów. Aktualność BDOT10k datowana jest na rok 2011, natomiast aktualność ortofotomapy na rok 2012. Rzeczywisty stan drzew określono początkowo na podstawie ortofotomapy, a następnie wykonano dodatkowo wywiad terenowy aktualizując liczbę drzew.

Do badań wykorzystano 1 arkusz danych LiDARowych obejmujący fragment Pragi Południe w Warszawie. Obszar ten charakteryzuje się występowaniem nowoczesnych kompleksów mieszkaniowych (wysokie wieżowce), jednak nie brakuje również starszego budownictwa (kamienice wielopiętrowe). Obiekty, które podlegają detekcji – drzewa, występują głównie w postaci starszych nasadzeń wzdłuż ulic i pomiędzy budynkami, co dodatkowo utrudnia ich identyfikację. Poniżej zaprezentowano obszar opracowania na tle fragmentu ortofotomapy (ryc. 2).

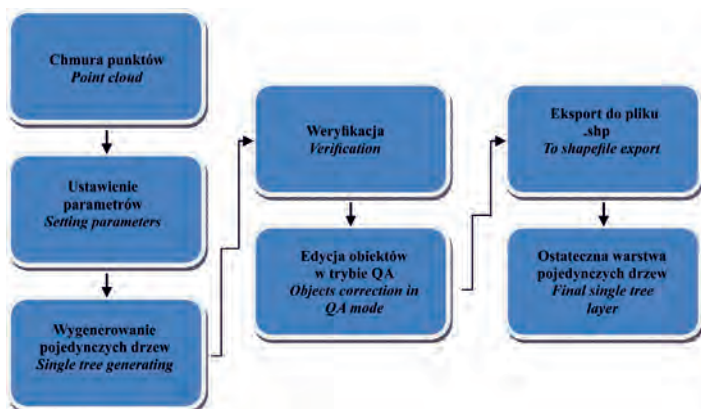


Ryc. 2. Obszar opracowania – fragment dzielnicy Praga Południe, Warszawa (czerwona ramka) na tle ortofotomapy w barwach rzeczywistych
 Fig. 2. Test area – a part of Praga Południe district, Warsaw (red border)

Automatyczna detekcja pojedynczych drzew

Celem tego etapu prac było wygenerowanie produktów pochodnych z danych ALS w postaci warstwy wektorowej reprezentującej pojedyncze drzewa, w oparciu o parametry uznane za odpowiednie na podstawie przeprowadzonych eksperymentów. Badanie polegało na

wygenerowaniu i sprawdzeniu poprawności detekcji drzew jako oddzielnych obiektów w programie ENVI LiDAR. Oprócz wygenerowanych danych wektorowych określono atrybuty drzew, takie jak: położenie (lokalizacja), wysokość drzewa oraz rozpiętość korony. Algorytm postępowania przedstawiono na poniższym schemacie (ryc. 3).



Ryc. 3. Metodyka ekstrakcji pojedynczych drzew
Fig. 3. Methodology of single tree extraction

W celu wygenerowania pojedynczych drzew należało ustalić odpowiednie parametry klasyfikacji obiektów z chmury punktów jako drzew: wysokości drzew i rozpiętości korony. Z punktów chmury wybierane są te, które w procesie przygotowania danych miały nadaną klasę roślinności (niska 0–0,40 m, średnia 0,40–2 m, wysoka – powyżej 2 m). Następnie punkty poddawane są klasteryzacji, wyodrębniając koronę drzewa. Ze względu na to, że nie jest z góry określone jakie parametry są najbardziej odpowiednie, wykonano próbne testy. Przyjęto różne wartości minimalnego promienia korony drzewa, sprawdzając każdorazowo zgodność detekcji drzew z danymi referencyjnymi (BDOT10k

zaktualizowany o dane z ortofotomapy). Minimalną wysokość drzewa przyjęto za stałą, tj. 3 m, ponieważ mniejsze wysokości powodowały zaliczanie krzewów do klasy drzew. Jako stałe wartości przyjęto również wysokość maksymalną drzewa – 50 m oraz maksymalny promień korony drzewa – 9 m.

Na podstawie przeprowadzonych testów wskazano parametry, które uznano za optymalne w procesie wykrywania drzew na obszarze testowym (tab. 1). Analizując tabelę łatwo zauważyć, że w poszczególnych testach wyniki się powtarzają. Na tej podstawie zaproponowano przedziały parametrów dla minimalnego promienia korony drzewa (tab. 2).

Tabela 1. Wyniki testów przeprowadzonych w celu określenia optymalnych parametrów drzew

Table. 1. Results of tests carried out to determine optimal parameters of trees

Nr	Promień [cm] Radius of tree's crown [cm]	Liczba drzew – dane referencyjne Number of trees – reference data	Całkowita liczba wykrytych drzew All detected trees	Drzewa zlokalizowane, mające odpowiedniki w danych referencyjnych Trees detected in place of real tree	Drzewa zlokalizowane bez odpowiedników w danych referencyjnych (błąd przeszacowania) False detected trees (commission error)	Drzewa niezlokalizowane (błąd niedoszacowania) Undetected trees (omission error)
Test 1	50	72	207	61	146	11
Test 2	75	72	207	61	146	11
Test 3	90	72	95	51	44	21
Test 4	100	72	95	51	44	21
Test 5	120	72	95	51	44	21
Test 6	130	72	73	42	31	30
Test 7	150	72	73	42	31	30
Test 8	160	72	71	42	29	30

Tabela 2. Przedziały parametrów dla minimalnego promienia korony drzewa wraz z wynikami

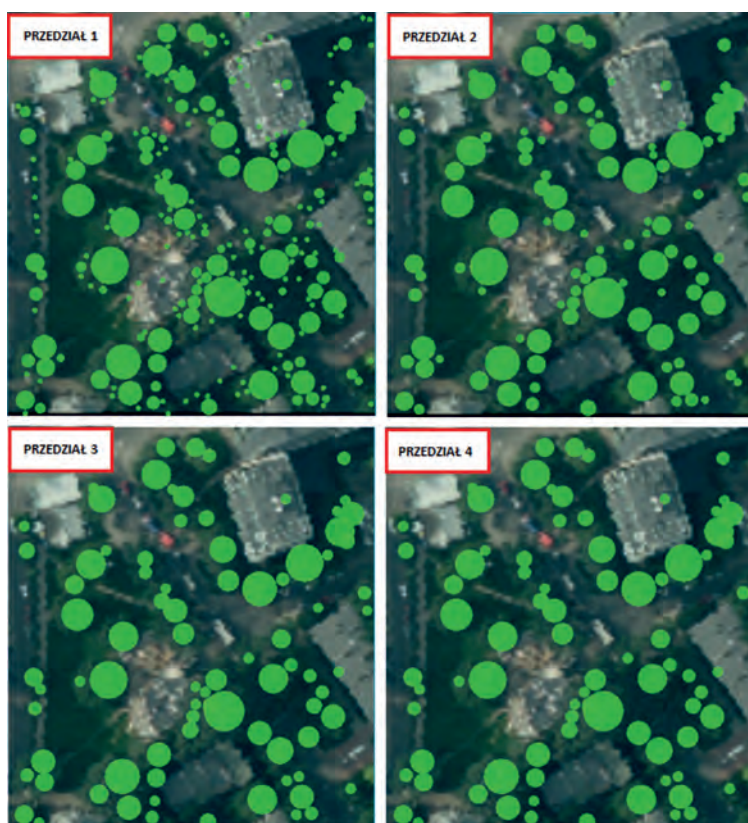
Table. 2. Ranges of parameters for minimum radius of tree crown and the results

Przedziały promienia korony [cm] <i>Ranges of tree's crown [cm]</i>	Faktyczny stan drzew – dane referencyjne <i>Reference data – number of trees</i>	Całkowita liczba wygenerowanych drzew <i>Number of detected trees</i>	Drzewa zlokalizowane mające odpowiedniki w danych referencyjnych <i>Trees detected in place of real tree</i>	Drzewa zlokalizowane bez odpowiedników w danych referencyjnych <i>False detected trees (commission error)</i>	Drzewa niezlokalizowane <i>Undetected trees</i>
50 – 90	72	207	61	146	11
90 – 120	72	95	51	44	21
130 – 150	72	73	42	31	30
160 i więcej	72	71	42	29	30

Im większe wartości promienia (przedziały 3 i 4), tym więcej niezlokalizowanych drzew i mniej wykrytych drzew. Dobrą stroną jest to, że mniej jest zlokalizowanych drzew niemających swoich odpowiedników w danych referencyjnych (mniejszy błąd przeszacowania). Z kolei mniejsza wartość promienia (przedział 1) niesie za sobą o wiele większą całkowitą liczbę wygenerowanych drzew w porównaniu ze stanem faktycznym (większy błąd przeszacowania). Mimo, że w tym przedziale zostało wykrytych najwięcej drzew mających odpowiedniki w danych referencyjnych, to jest też dużo więcej takich, które nie mają swoich odpowiedników – aż 146 (prawie 2 razy więcej niż faktyczna liczba drzew na tym obszarze). Najbardziej optymalny jest przedział 2. Mimo, że liczba zlokalizowanych drzew, mających swoje odpowiedniki jest mniejsza niż w przypadku przedziału 1, to liczba zlokalizowanych drzew

niemających swoich odpowiedników jest dużo mniejsza. Dodatkowo liczba niezlokalizowanych drzew jest mniejsza niż w przypadku przedziałów 3 i 4.

Na ryc. 4 przedstawiono wyniki z poszczególnych przedziałów, pokazujące różnice w generowaniu drzew na podstawie poszczególnych przedziałów. Poprawność wykrycia drzew, które mają swoje odpowiedniki w danych referencyjnych wynosi 84% (przedział 1), 71% (przedział 2) oraz 58% (przedział 3 i 4) dla badanych przedziałów. Optymalne wartości dla minimalnego promienia korony drzewa mieszczą się w przedziale od 90 cm do 120 cm i dla tego przedziału wartości przeprowadzono ekstrakcję pojedynczych drzew. Parametry detekcji drzew należy dobierać starannie, gdyż podczas ewentualnej późniejszej korekacji zakres wysokości oraz rozpiętości korony ograniczony jest wartościami zdefiniowanymi w procesie przetwarzania.



Ryc. 4. Różnice w liczbie wykrytych drzew w zależności od przyjętego przedziału parametrów
Fig. 4. Differences in number of detected trees depending on the range of parameters (1–4)

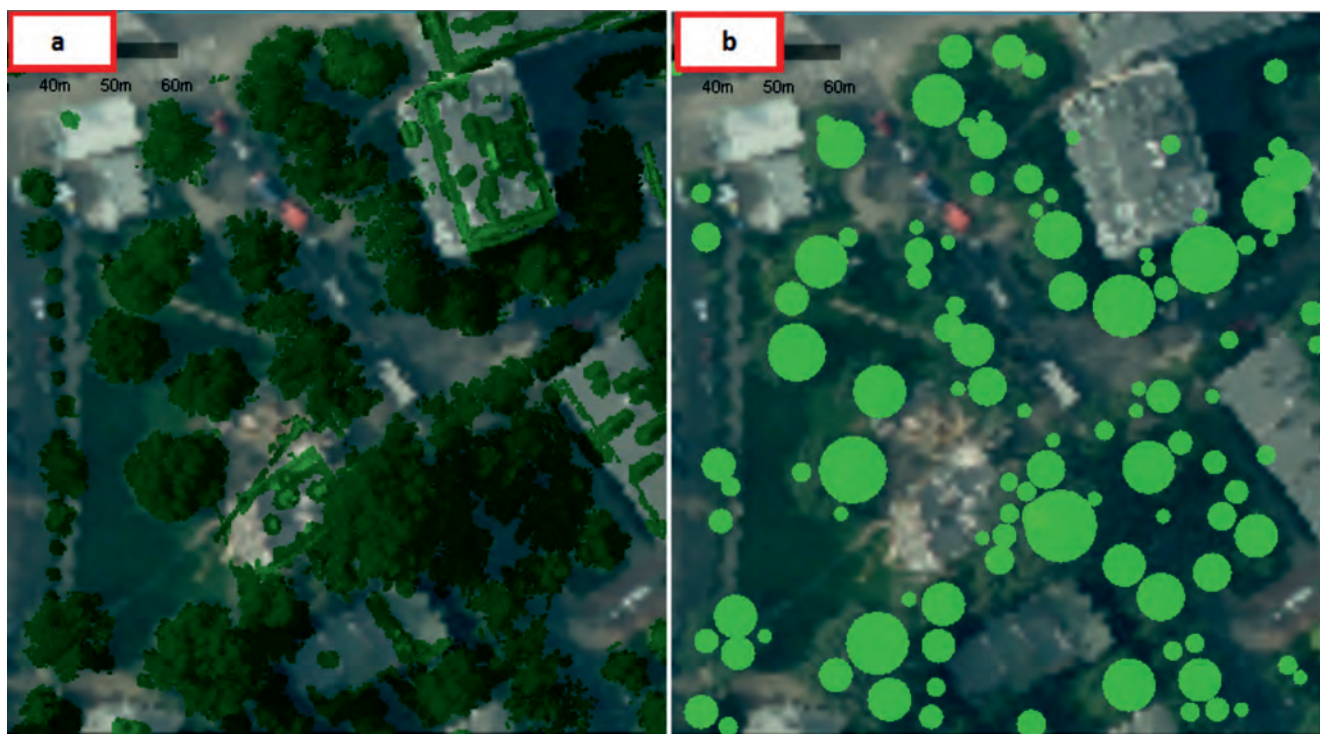
W prawidłowej identyfikacji drzew kluczowym okazał się parametr minimalnej rozpiętości korony drzewa. Zbyt duża wartość promienia powodowała, że większość drzew o mniejszych promieniach korony nie została wygenerowana. Z kolei zdefiniowanie za małej wartości skutkowało tym, że program generował drzewa tam, gdzie nie powinny się one znaleźć. Przykładowo, w miejscu, gdzie występowało drzewo o dużej rozpiętości korony, generowane było nie jedno, a kilka drzew (ryc. 5). Należałoby się zastanowić, który z błędów jest poważniejszy: pominięcia drzewa (błąd niedoszacowania) czy nadmiernej liczby wygenerowanych drzew (błąd przeszacowania). Nadmiarowe dane można wyeliminować, natomiast trudniej jest zweryfikować braki wykrycia (pominięte drzewa). Stąd wydaje się, iż nadmiarowość w wykryciu drzew jest mniej znaczącym błędem niż ich pominięcie. Innym przykładem błędu było generowanie elementów budynków, które zostały uznane za drzewo o małej wartości rozpiętości korony.

Po zakończeniu przetwarzania, punktom, które przedstawiały drzewa została przyporządkowana zielona barwa (ryc. 6a). Zostały one zapisane w warstwie wektorowej i przedstawione jako obiekty w postaci odwróconego stożka (ryc. 6b). Utworzone warstwy zostały wyświetlone w trybie Quality Assurance, który pozwala na dalszą edycję punktów oraz ostatecznych obiektów.



Ryc. 5. Przykład błędnego wygenerowania danych wektorowych dla drzew wskutek nieprawidłowego doboru parametru promienia korony

Fig. 5. An example of false generated vector data for trees as a result of incorrect choice of tree crown parameters



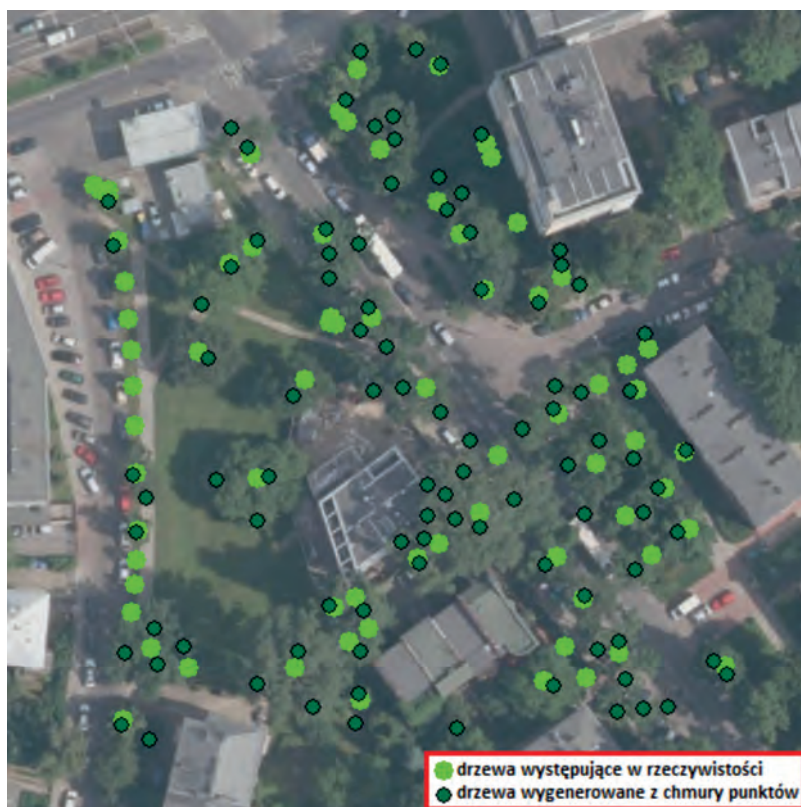
Ryc. 6. Drzewa wygenerowane jako pochodne chmury punktów (a) i w postaci wektorowej warstwy punktowej (b)

Fig. 6. Trees generated as derivative of cloud points (a) and in point vector layer (b)

Analiza poprawności detekcji drzew i ich dalsze przetwarzanie

Po procesie przetwarzania chmury punktów dokonano analizy wizualnej stanu nowo utworzonych obiektów w postaci wektorowej. W oprogramowaniu ArcGIS opra-

cowano warstwę – stan drzew na badanym obszarze i porównano z danymi wektorowymi wygenerowanymi z chmury punktów. Na ryc. 7 zaprezentowano aktualną liczbę drzew oraz drzewa z automatycznej ekstrakcji obiektów.

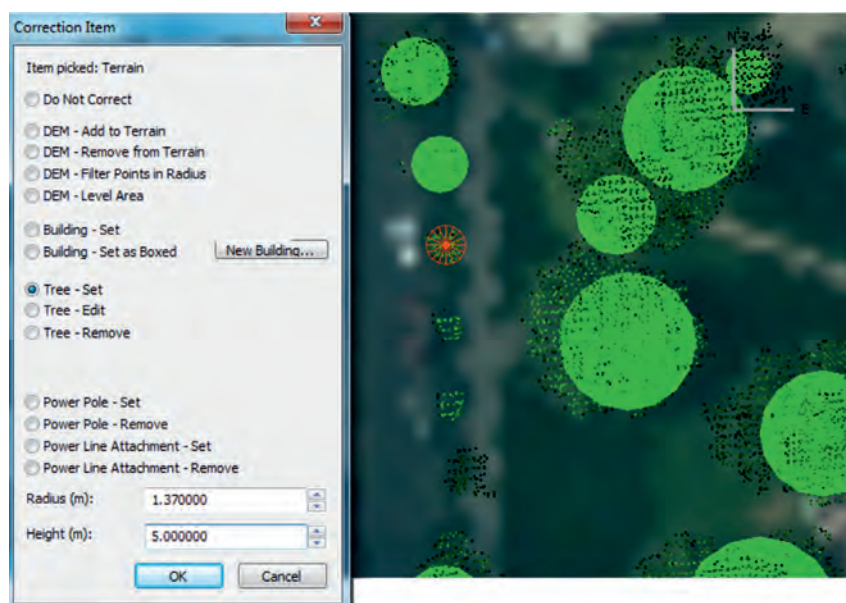


Ryc. 7. Rzeczywista lokalizacja drzew oraz drzewa wygenerowane automatycznie

Fig. 7. The actual location of trees (bright green) and automatic generated trees (dark green)

Mimo określenia optymalnych parametrów do identyfikacji drzew, wygenerowana warstwa zawierała obiekty, które nie reprezentowały drzew. Niektóre drzewa nie zostały wykryte, mimo że punkty występujące w miejscach tych drzew zostały zaklasyfikowane jako drzewa. Definiując takie parametry nie dało się wyeliminować sytuacji, gdy w miejsce jednego drzewa algorytm wygenerował kilka. Spowodowało to nie tylko błędne wygenerowanie drzew, ale też przypisane prawidłowo wygenerowanym obiektom błędnych wartości promienia. W kolejnym kroku przeprowadzono dodatkową manualną edycję i dokonano zmian parametrów pojedynczych drzew w dwóch etapach. W etapie pierw-

szym, w warstwie pochodnej z chmury punktów, wprowadzono nowe obiekty reprezentujące drzewa, które nie zostały wygenerowane automatycznie. W celu wstawienia obiektu „drzewo” posłużono się funkcją *New Correction – Tree Set*. W narzędziu *Correction Item* wpisano parametry dotyczące drzewa: *Radius (m)* – promień rozpiętości korony drzewa oraz *Height (m)* – wysokość drzewa (ryc. 8). Rozpiętość korony drzewa pomierzono korzystając z narzędzia mierzącego – *Measurement Tool*, natomiast do sprawdzenia wysokości drzewa skorzystano z narzędzia *Filter Points By Height*.

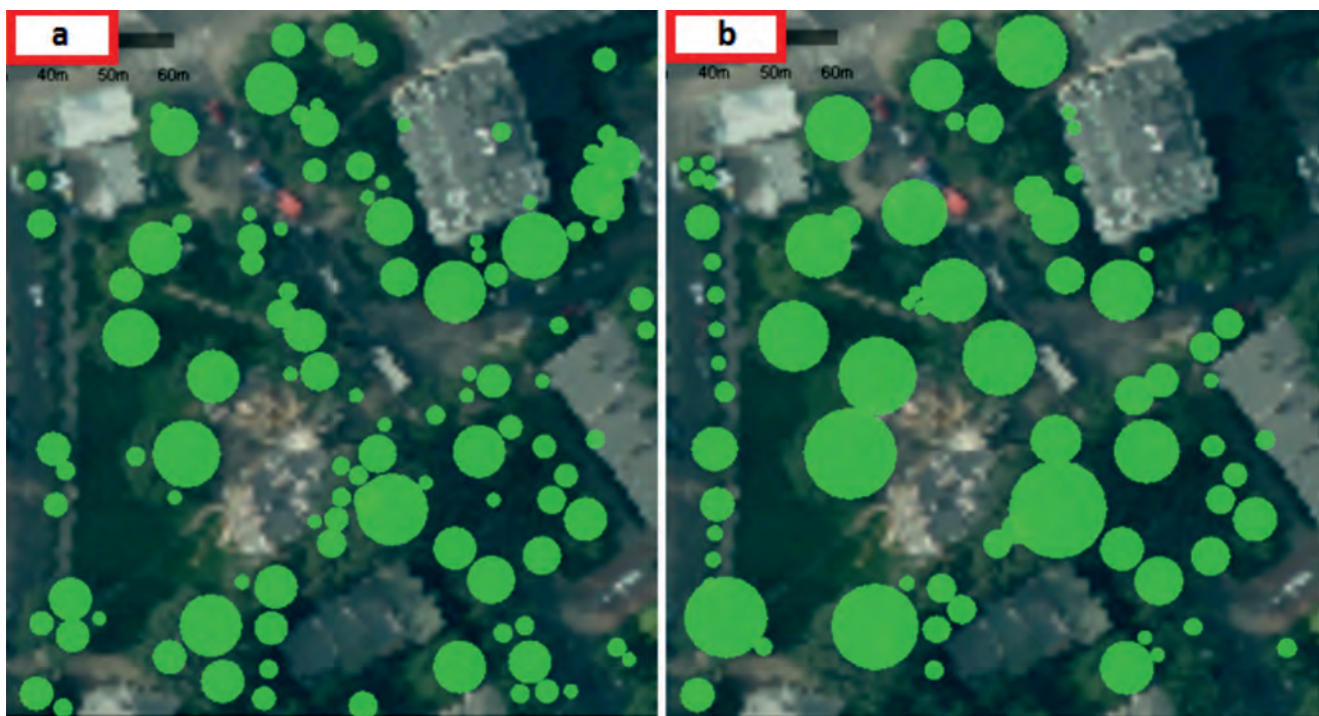


Ryc. 8. Manualna edycja wartości wysokości oraz rozpiętości korony drzewa

Fig. 8. Manual correction of height and crown spread values of tree

W kolejnym kroku poddano modyfikacji obiekty, którym przypisane zostały błędne parametry (funkcja *Tree – Edit*, narzędzie *Correction Item*). Ponownie wypełniono pola parametrów drzewa, tym razem poprawiając te nadane błędnie. W wielu miejscach zdarzyło się, że korona drzewa o dużej rozpiętości została wykryta jako kilka koron o mniejszych rozpiętościach. Należało

usunąć takie obiekty za pomocą funkcji *Tree – Remove* i odpowiednio zmodyfikować te obiekty, które faktycznie powinny się tam znajdować. Po przeprowadzeniu odpowiednich działań opisanych wyżej, uzyskano prawidłowo wygenerowane dane wektorowe dla drzew. Poniżej przedstawiono porównanie sytuacji sprzed (ryc. 9a) i po korekcie danych wektorowych (ryc. 9b).



Rys. 9. Automatyczna detekcja drzew (a) i po manualnej korekcie (b)

Fig. 9. Automatic detected trees before (a) and after (b) manual correction

Dla każdego drzewa występującego w rzeczywistości został wygenerowany obiekt w postaci wektorowej oraz określone zostały jego parametry: położenie, wysokość oraz rozpiętość korony. Dzięki czemu można było ostatecznie uzyskać 100% zgodność ze stanem faktycznym (ryc. 10) oraz sprawdzić w tabeli atrybutów czy każde drzewo ma przypisane parametry. Analizując tabelę można zauważyć, że atrybut dotyczący geometrii obiektu (Shape*) ma przypisaną wartość *Point ZM*. Jest to wynik tego, że „pojedyncze drzewo” występuje jako obiekt 3D.

Podsumowując wyniki z automatycznej ekstrakcji pojedynczych drzew należy stwierdzić, że rezultaty detekcji zależą głównie od doboru parametrów. Program prawidłowo wykrywa drzewa rosnące osobno poza skupiskami, jednak to też jest uzależnione od określenia minimalnego promienia korony drzewa. Problemy pojawiają się w miejscach, gdzie drzewa występują w skupiskach. Jednakże można to rozwiązać projektując klasę „drzewa” w dwóch wariantach – jako warstwę punktową z pojedynczymi drzewami oraz jako warstwę poligonomową z koronami drzew, w której taka grupa (skupisko)

drzew traktowana byłaby jako jeden obiekt. Co wydaje się słuszne również dlatego, że w wykorzystywanym zbiorze danych LiDARowych detekcji podlega *de facto* korona, a nie drzewo identyfikowane zgodnie z geodezyjnym pomiarem terenowym jako pień drzewa. Błędy mogą wynikać również z błędów w automatycznej klasyfikacji punktów (nie weryfikowano tego manualnie). Można też taką detekcję wykonać etapowo, tj. w każdym etapie wykryć drzewa w konkretnym przedziale wartości rozpiętości korony drzew (np. wąskie korony, o średnim pokroju i bardzo rozłożyste). Do rzetelnego określenia parametrów detekcji potrzebna jest współpraca z botanikami.

Ponadto ze względu na błędy nadmiaru i pominięcia wskazana jest dalsza optymalizacja algorytmów i parametrów detekcji, aby zminimalizować manualną ingerencję. Największą zaletą danych LiDARowych jest to, że bez względu na algorytm, dają one możliwość pozyskania takich atrybutów drzew, których nie dostarczy (poza pomiarem terenowym) żadne inne źródło danych przestrzennych.



Ryc. 10. Aktualny stan drzew oraz drzewa wygenerowane automatycznie po edycji

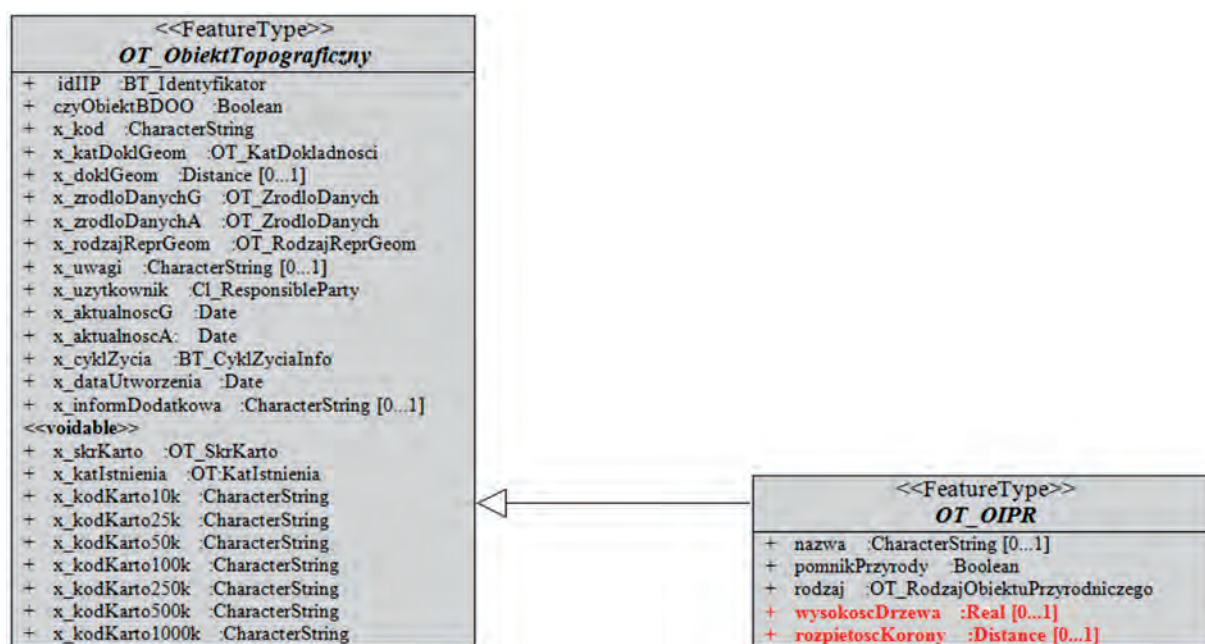
Fig. 10. The actual location of trees (bright green) and automatic generated trees after manual correction (dark green)

Pojedyncze drzewo jako nowa klasa obiektów w BDOT10k

Proponowana metodyka detekcji drzew jest też skuteczną metodą aktualizacji bazy danych BDOT10k o nowe obiekty. W tym miejscu zostanie przedstawiona koncepcja uzupełnienia schematu aplikacyjnego UML i katalogu obiektów BDOT10k o nowy obiekt: pojedyncze drzewo. Obiekt ten będzie zakwalifikowany do

kategorii obiekty inne, do klasy obiekt przyrodniczy jako rodzaj pojedyncze drzewo. W związku z tym do klasy abstrakcyjnej OT_OIPR – obiekty przyrodnicze, należy dodać atrybuty związane z pojedynczym drzewem. Zmodyfikowany schemat aplikacyjny UML jest przedstawiony na ryc. 11.

Ze względu na zmiany w schemacie aplikacyjnym, zmianom ulegnie też katalog obiektów w zakresie dotyczącym obiektów przyrodniczych (tab. 3).



Ryc. 11. Zmiany w schemacie aplikacyjnym UML dla obiektów przyrodniczych (oznaczono kolorem czerwonym)

Fig. 11. Changes in application schema of UML for environmental objects (in red)

Tabela 3. Zmiany w katalogu obiektów w zakresie dotyczącym obiektów przyrodniczych (oznaczono kolorem czerwonym)

Table. 3. Changes in objects catalog in terms of environmental objects (in red)

Klasa: OT_OIPR <i>Abstract</i>	
<i>Nazwa:</i>	obiekty przyrodnicze
<i>Definicja:</i>	Obiekty będące elementami środowiska przyrodniczo-geograficznego powierzchni Ziemi, które z punktu widzenia przyjętego modelu pojęciowego nie wchodzą w skład kategorii obiektów pokrycie terenu (PT)
<i>Klasa bazowa:</i>	OT_ObjektTopograficzny
<i>Stereotypy:</i>	<<FeatureType>>
Atrybut:	
<i>Nazwa:</i>	wysokoscDrzewa
<i>Nazwa (pełna):</i>	wysokość drzewa
<i>Dziedzina:</i>	Real
<i>Liczność:</i>	0..1
<i>Definicja:</i>	Wysokość obiektu pojedyncze drzewo
Atrybut:	
<i>Nazwa:</i>	rozpietoscKorony
<i>Nazwa (pełna):</i>	rozpiętość korony
<i>Dziedzina:</i>	Distance
<i>Liczność:</i>	0..1
<i>Definicja:</i>	Rozpiętość (szerokość) korony obiektu pojedyncze drzewo

W klasie OT_OIPR znajduje się atrybut rodzaj, który określa rodzaj obiektu przyrodniczego. Rodzaje obiektu przyrodniczego zdefiniowane są w osobnej klasie OT_RodzajObiektuPrzyrodniczego w formie listy wyliczeniowej. Do tej klasy należy dodać nowy rodzaj: pojedyncze drzewo (tab. 4).

Słownik dla rodzaju obiektu przyrodniczego już istnieje, jednak dodając nowy obiekt, należy go również zmodyfikować. Zaproponowano dodanie „pojedynczeDrzewo=Pjd” (tab. 5).

Tabela 4. Nowy atrybut w klasie OT_RodzajObiektuPrzyrodniczego (oznaczono kolorem czerwonym)

Table. 4. New attribute in OT_RodzajObiektuPrzyrodniczego class (in red)

Klasa: OT_RodzajObiektuPrzyrodniczego	
<i>Nazwa:</i>	rodzaj obiektu przyrodniczego
<i>Definicja:</i>	Rodzaj obiektu przyrodniczego
<i>Stereotypy:</i>	<<enumeration>>
Atrybut:	
<i>Nazwa:</i>	pojedynczeDrzewo
<i>Nazwa (pełna):</i>	pojedyncze drzewo – Pod
<i>Definicja:</i>	Roślina o wysokości minimalnej 1,50 m i szerokości korony o minimalnej wartości 2,40 m

Tabela 5. Zmodyfikowany słownik dla klasy OT_RodzajObiektuPrzyrodniczego (oznaczono kolorem czerwonym)

Table. 5. Modified dictionary for OT_RodzajObiektuPrzyrodniczego class (in red)

<<enumeration>> OT_RodzajObiektuPrzyrodniczego
drzewoGrupaDrzew = Dwo
glazNarzutowyGrupa = Gnr
kepaKrzewow = Kkr
kepaKosodrzewiny = Kko
liniaOddzialowa = Lod
malyLas = Mls
odosobnionaSkala = Osk
pasKrzakowZywoplot = Zwpl
progSkalny = Psk
rzadDrzew = Rdr
wejscieDoJaskini = Wdj
wodospad = Wds
zrodlo = Zrd
pojedynczeDrzewo = Pjd

Podsumowanie i wnioski

Celem przedstawionych badań było opracowanie koncepcji pozyskania dodatkowych danych o drzewach w celu zasilenia, a tym samym zwiększenia potencjału informacyjnego Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k) oraz przedstawienie możliwości aktualizacji obiektów bazy przy wykorzystaniu danych LiDARowych. W ramach prac badawczych zostały wykonane eksperymenty dotyczące ekstrakcji pojedynczych drzew z chmury punktów. Z uwagi na postęp technologiczny i stały rozwój oprogramowania do przetwarzania danych LiDARowych, zdecydowano się na przeprowadzenie ekstrakcji obiektów metodą automatyczną za pomocą oprogramowania ENVI LiDAR.

W związku z zasileniem BDOT10k nowymi danymi zaproponowano także zmiany schematu aplikacyjnego UML oraz katalogu obiektów dla BDOT10k w zakresie obiektu przyrodniczego. W pracy przedstawiono propozycje zmian w sytuacji wprowadzenia do BDOT10k atrybutów związanych z pojedynczymi drzewami. Dodatkową zaletą zasilenia BDOT10k pojedynczymi drzewami, poza zastosowaniami związanymi z 3D, jest możliwość przeprowadzania różnych analiz przestrzennych w ramach obiektów 2D. Przykładem może być analiza związana z identyfikacją drzew, które stanowią zagrożenie dla linii energetycznych.

W pracy badawczej, jako główne źródło informacji, wykorzystano dane LiDARowe. Dane te mają dużą dokładność, ponadto dają możliwość pozyskania takich informacji, których nie da się, bądź tylko w pewnym stopniu, pozyskać z innych zbiorów danych przestrzennych. Chmura punktów o gęstości 12 pkt na 1 m² jest bardzo dobrym i wystarczającym materiałem dla zasilenia BDOT10k zaproponowanymi wyżej danymi, a przez to zbliżenia do koncepcji modelu 3D dla całego kraju.

Bibliografia

- Bandyopadhyay M., van Aardt J., Cawse-Nicholson K., 2013, Classification and Extraction of Trees and Buildings from Urban Scenes Using Discrete Return LiDAR and Aerial Color Imagery, SPIE Proceedings 8731.
- Cisło U., 2008, Zarys koncepcji trójwymiarowej wielorozdzielczej bazy topograficznej, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* 18a, 49–57.
- Cisło-Lesicka U., 2010, Pozyskiwanie informacji 3D o budynkach dla potrzeb trójwymiarowej wielorozdzielczej bazy topograficznej, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* 21, 63–73.
- Cisło-Lesicka U., 2013, BDOT10k w postaci trójwymiarowej, rozdział w monografii: *Rola bazy danych obiektów topograficznych w tworzeniu infrastruktury informacji przestrzennej w Polsce*, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa.
- Mendela M., 2013, Wykorzystanie lotniczego skaningu laserowego do aktualizacji Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k), *Seminarium Naukowe nt. „Problemy generalizacji kartograficznej współczesnych zasobów danych topograficznych”*, Kraków.
- Mendela M., Borkowski A., 2013, Identyfikacja zbiorników wodnych, jako obiektów BDOT10k, w zbiorze danych lotniczego skaningu laserowego z wykorzystaniem algorytmu Alpha shape, *Acta Scientiarum Polonorum*, 13–26.
- Rozporządzenie 2011: Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 17 listopada 2011 r. w sprawie bazy danych obiektów topograficznych oraz bazy danych obiektów (...) (Dz.U. nr 279, poz. 1642).
- System Informacji Przestrzennej Wrocławia, <http://gis.um.wroc.pl/imap3d/> (dostęp: 5.05.2015).
- Węzyk P., Szostak M., Tompalski P., 2010, Aktualizacja baz danych SILP oraz Leśnej Mapy Numerycznej w oparciu o dane z lotniczego skaningu laserowego, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* 21, 437–446.