

**GENEROWANIE REFERENCYJNEGO NUMERYCZNEGO MODELU
TERENU O ZASIĘGU KRAJOWYM W OPARCIU O LOTNICZE
SKANOWANIE LASEROWE W PROJEKCIE ISOK**

**GENERATION OF COUNTRYWIDE REFERENCE DIGITAL TERRAIN
MODEL FROM AIRBORNE LASER SCANNING IN ISOK PROJECT**

Zdzisław Kurczyński, Krzysztof Bakula

Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej,
Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska

SŁOWA KLUCZOWE: lotnicze skanowanie laserowe (ALS), numeryczne modele wysokościowe (NMT, NMPT), specyfikacja techniczna, kontrola, jakość danych

STRESZCZENIE: W niniejszej publikacji referacie opisano analizę doboru podstawowych parametrów lotniczego skanowania laserowego mających wpływ na otrzymanie modeli wysokościowych o założonych, referencyjnych parametrach jakościowych na przykładzie lotniczego skanowania laserowego organizowanego w ramach wypełnienia zaleceń dyrektywy powodziowej w Polsce. Analiza taka legła u podstaw określenia warunków technicznych dla bardzo dużego projektu, którego realizacja nadal trwa. Rozważaniom podlegały nie tylko uwarunkowania techniczne, ale również możliwości organizacyjne i ekonomiczne. Pod uwagę wzięto także zakres prac oraz ograniczenia czasowe na ich realizację, co – przy uwzględnieniu wydajności prac – narzuca organizację prac. Spośród parametrów technicznych, analizie poddano m.in.: gęstość chmury punktów ALS, dokładność georeferencji chmur punktów, warunki meteorologiczne pozyskiwania danych ALS, parametry dokładnościowe produktów pochodnych tj. numerycznych modeli wysokościowych. W tak złożonym projekcie (podział robót na podobszary, wielu wykonawców, kilka produktów końcowych, podział na wiele etapów dostaw) kluczowym jest również odbiór i kontrola jakości, o której efektywności świadczy jej organizacja, zakres i przyjęte kryteria.

WPROWADZENIE

Gwałtowny rozwój techniki lotniczego skaningu laserowego (ALS), wyrażający się w rosnącej wydajności tych systemów, skutkuje malejącymi kosztami samego pozyskania danych ze skanerów laserowych, jak i ich upowszechnieniem w procesie generowania produktów finalnych, takich jak NMT, NMPT, 3D modele miast. Rozwój ten wyraża się rozwojem samych urządzeń skanujących, skanowaniem z większą gęstością punktów i z większych wysokości lotu. Powoduje to w rezultacie wzrost wydajności. Równolegle rozwijają się metody opracowania chmur punktów o gigantycznych rozmiarach, idące

w kierunku automatyzacji procesów opracowania i wytworzenia finalnych produktów. Trendy te spowodowały w ostatnich latach znaczne obniżenie kosztów. Równocześnie rozwija się oprogramowanie i rośnie stopień automatyzacji procesów samego opracowania tychże danych.

Obserwujemy gwałtowny rozwój techniki lotniczego skaningu laserowego – ALS (ang. Airborne Laser Scanning). Najbardziej typowym produktem przetworzenia chmury punktów ze skaningu lotniczego są numeryczne modele wysokościowe. Numeryczny model terenu (NMT) wygenerowany w oparciu o dane ALS był do niedawna bardzo kosztownym produktem, obecnie w warunkach europejskich, jego koszt dla dużych projektów kształtuje się na poziomie około 200 €/km². Pod względem dokładnościowym ALS nie ma praktycznie konkurencji i w tym zakresie wypiera metody tradycyjne, w tym opracowanie NMT na bazie wielkoskalowych zdjęć lotniczych.

Przedstawiona sytuacja powoduje, że rośnie zainteresowanie dla wykorzystania tej techniki na szerszą skalę i na większych obszarach dla wytworzenia precyzyjnego NMT o zasięgu regionalnym, a nawet krajowym. Trendowi temu sprzyja obowiązująca w UE tzw. Dyrektywa Powodziowa - Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim (Dyrektywa Powodziowa, 2007) nakładająca na państwa członkowskie obowiązek wytworzenia dokumentów planistycznych w zakresie zarządzania ryzykiem powodziowym według spójnego w skali Europy podejścia metodycznego oraz zapewnienia społeczeństwu dostępu do ich wyników. Podstawowymi z nich są mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego, które mają powstać do 22 grudnia 2013 roku i które będą również następnie poddawane przeglądowi i aktualizacji do dnia 22 grudnia 2019 r. i dalej co sześć lat. Dyrektywa Powodziowa nakłada ponadto obowiązek opracowania i opublikowania ponadto wstępnej oceny ryzyka powodziowego oraz planów zarządzania ryzykiem powodziowym.

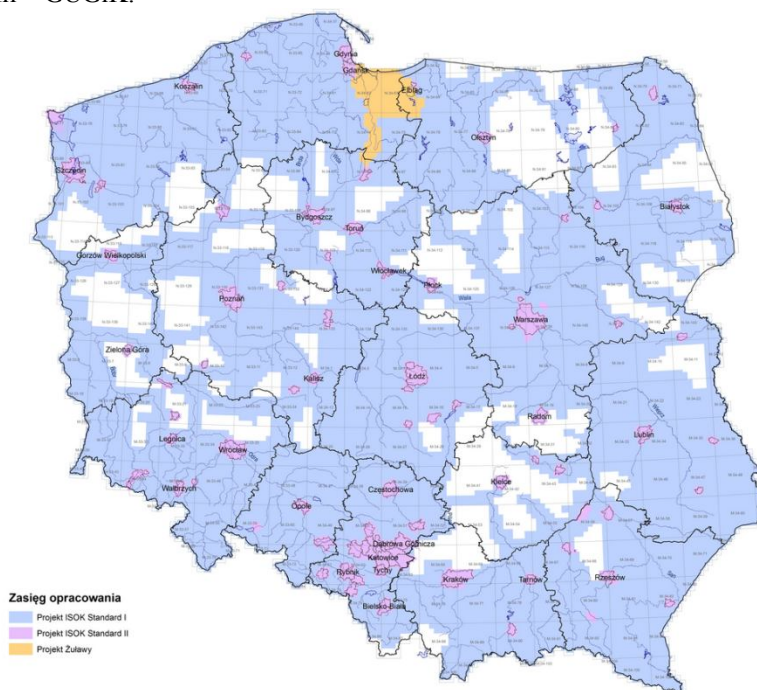
Wynikiem przedstawionej powyżej sytuacji, tj. z jednej strony wzrostem wydajności i malejącymi kosztami ALS, a z drugiej zapotrzebowaniem na precyzyjne modele wysokościowe, wynikającym z Dyrektywy Powodziowej, jest realizacja w Europie wielu dużych projektów, mających na celu wytworzenie NMT o zasięgu regionalnym lub krajowym. Wiele krajów europejskich realizuje te zadania poprzez uruchomienie ogólnokrajowych projektów ALS. Jednym z takich krajów jest Polska. W czasie planowania tak dużych projektów pojawia się jednak szereg pytań, jakie przyjąć rozwiązania techniczne dla tak postawionego zadania. Przy tak dużej skali przedsięwzięcia, oprócz pytań o parametry techniczne, należy również postawić problem organizacji projektu, jego koszt i terminarz realizacji.

1. PROJEKT ISOK

Cała Polska jest pokryta NMT opracowanym ze zdjęć lotniczych analogowych i cyfrowych. Stosowane są dwie skale zdjęć: 1:26 000 (GSD = 0.50 m dla kamer cyfrowych) oraz 1:13 000 (GSD = 0.25 m). NMT powstaje w procesie cyklicznego pokrywania kraju cyfrową ortofotomapą dla potrzeb LPIS (ang. Land Parcel Identification System) – część systemu IACS (ang. Integrated Administration and Control System).

Dokładność wysokościowa tego produktu, zależnie od danych źródłowych, waha się w przedziale $RMSE = 0.9 \div 1.5$ m. Jest to dokładność niewystarczająca dla potrzeb modelowania hydraulicznego w procesie tworzenia map zagrożenia powodziowego. Według dokumentu opracowanego przez grupę ekspertów pracującą przy Komisji Europejskiej - EXCIMAP - European Exchange Circle on Flood Mapping (Eximap, 2007) znaczący wpływ na wiarygodność i dokładność końcowego produktu, jakim jest mapa zagrożenia powodziowego, przy najbardziej płaskim terenie z niewielkim nachyleniem terenu obszarów zalewowych, ma odpowiedni wybór źródła danych o dokładności pionowej lepszej niż 0.5 m. Wykonawcze akty prawne, wdrażające Dyrektywę Powodziową do praktyki krajowej, określają natomiast wymaganą dokładność NMT na wyższym poziomie – przynajmniej 0.15 m dla powierzchni odkrytych, utwardzonych i przynajmniej 0.30 m dla powierzchni zalesionych z zaznaczeniem wykonania produktu metodą lotniczego skaningu laserowego (Dz. U. Rzeczypospolitej Polskiej, 2013).

Do wypełnienia tych zadań powstał projekt Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami – ISOK. Głównym jego komponentem jest pokrycie 65% powierzchni kraju (191 000 km²) danymi skaningu laserowego i wygenerowanie na ich podstawie numerycznych modeli wysokościowych. Obszary te stanowią potencjalnie zagrożone powodzią i zostały wytypowane przez Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej – KZGW (rys. 1). Organem odpowiedzialnym za realizację projektu w zakresie skanowania laserowego i opracowania modeli wysokościowych jest Główny Urząd Geodezji i Kartografii – GUGiK.



Rys. 1. Zakres obszarowy opracowania danych geoprzestrzennych w projekcie ISOK, źródło: www.gugik.gov.pl

2. WARUNKI TECHNICZNE I ORGANIZACYJNE PROJEKTU ISOK

GUGiK stanął przed zadaniem niemającym precedensu wcześniej. W kraju brak było doświadczeń w zakresie realizacji projektów ALS na szerszą skalę. Głównymi pytaniami, z jakimi należało się zmierzyć były: jak zrealizować zadanie w okresie 3 lat; jakie postawić warunki techniczne na pozyskiwanie danych ALS i ich opracowanie; jakich się spodziewać kosztów; jak zorganizować odbiory produktów i ich kontrolę jakości?

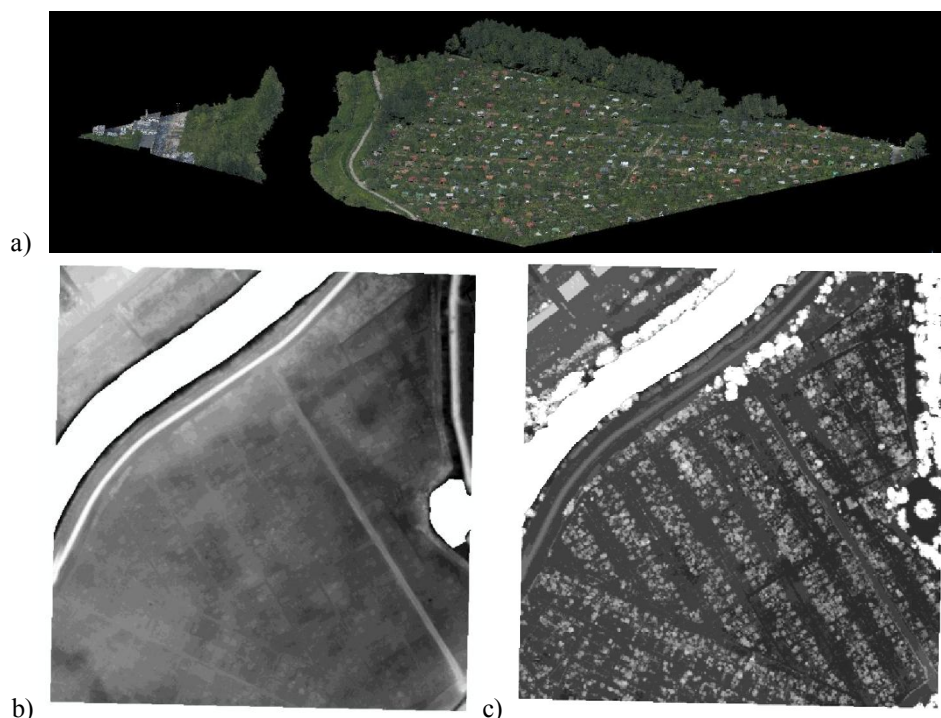
Przed uruchomieniem głównego projektu wykonano pilotażowe opracowanie, które potwierdziło możliwość uzyskania wstępnie zakładanych parametrów dokładnościowych. Dla realizacji zadania w zakładanym okresie 3 lat należało zaangażować duży potencjał produkcyjny. Obszar opracowania podzielono na 6 podobszarów. Każdy był przedmiotem odrębnego postępowania przetargowego. Od każdego z wykonawców (praktycznie konsorcjów firm) wymagano dysponowania dwoma samolotami fotogrametrycznymi, wyposażonymi w skaner i kamerę cyfrową. Ustalając warunki techniczne miano na uwadze, że pozyskane dane i produkty znajdą się w PZGiK i będą służyć nie tylko dla potrzeb modelowania hydraulicznego, ale również dla różnorodnych innych celów. Przyjęte parametry były więc kompromisem różnych przewidywanych zastosowań, ograniczonego budżetu oraz czasu realizacji.

Tab. 1. Podstawowe parametry ALS w ramach ISOK

Parametr	standard I	standard II
gęstość chmury punktów (w pojedynczym pasie obrazowania)	$\geq 4 \text{ pkt/m}^2$	$\geq 12 \text{ pkt/m}^2$ (2 niezależne naloty, każdy o gęstości $\geq 6 \text{ pkt/m}^2$)
równomierność gęstości punktów	stosunek średniej odległości punktów w linii do odległości linii w przedziale 1:1.5÷1.5:1	
kąt poprzeczny skanowania	$\leq \pm 25^\circ$ (dla obszarów niezalesionych dopuszcza się $\leq \pm 30^\circ$)	$\leq \pm 25^\circ$
pokrycie poprzeczne między szeregami	$\geq 20\%$	$\geq 20\%$
minimalna szerokość pasa pokrycia poprzecznego	$\geq 100 \text{ m}$	$\geq 100 \text{ m}$
maksymalna długość pojedynczego szeregu	$\leq 50 \text{ km}$	$\leq 50 \text{ km}$
szeregi poprzeczne w bloku ALS	minimum 2 szeregi poprzeczne	dwa niezależne poprzeczne naloty, zbędne dodatkowe szeregi poprzeczne
dokładność wysokościowa (błąd średni) punktów ALS laserowych po wyrównaniu (na płaskich utwardzonych nawierzchniach)	$m_h \leq 0,15 \text{ m}$	$m_h \leq 0,10 \text{ m}$
rejestracja wielokrotnych odbić (ech sygnału)	4 odbicia	4 odbicia
rejestracja intensywności odbitych sygnałów	tak	tak
rejestracja skanowanego pasa terenu średnioformatową kamerą cyfrową	synchroniczna ze skanowaniem (dopuszcza się rejestrację fotograficzną w innym terminie niż skanowanie ALS)	synchroniczna ze skanowaniem
termin wykonania nalołów skanerowych	od połowy października do końca kwietnia	cały rok

Po konsultacjach naukowych w projekcie wyróżniono dwa rodzaje obszarów, pokrywanych przez produkty o różnych standardach, których parametry zestawione zostały w tabeli 1:

- Standard II: obszary miast. Dla tych obszarów przewiduje się skaningu laserowy o zwiększonej gęstości 12 punktów/m²;
- Standard I: pozostałe obszary, pokrywane skanowaniem laserowym o podstawowej gęstości 4 punkty/m².



Rys. 2. Przykład „pokolorowanej” chmury punktów (a), NMT (b) i NMPT(c) tworzonych w projekcie ISOK - sekcja M-33-59-D-a-2-3-3 -1

3. PRODUKTY PROJEKTU ISOK

Na bazie danych z lotniczego skanowania laserowego i zdjęć cyfrowych są opracowywane następujące produkty finalne:

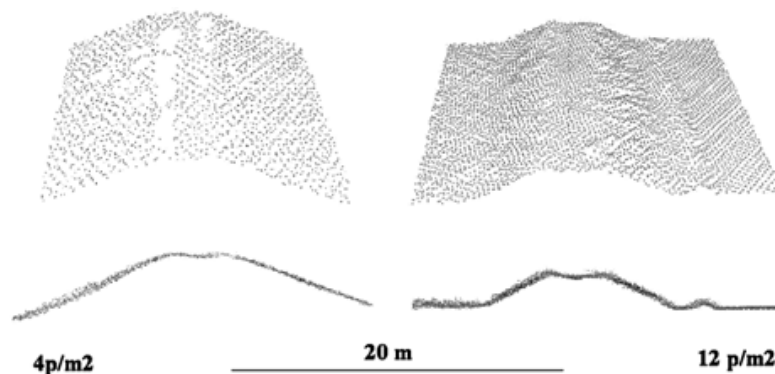
- sklasyfikowane chmury punktów - wyróżnia się kilka klas punktów. Dodatkowo, punkty te są „pokolorowane” w barwach rzeczywistych, tj. każdy punkt chmury zawiera informację o kolorze powierzchni, od której nastąpiło odbicie, w formie składowych barwnych: R, G, B. Informacje o kolorze są pozyskane z barwnych zdjęć wykonanych kamerą cyfrową. Przy znanej orientacji zewnętrznej takich zdjęć (pomierzonej przez zintegrowany system GPS/INS), jest możliwe znalezienie matematycznego odwzorowania punktu laserowego o współrzędnych X, Y, H na

- zdjęciu cyfrowym (x, y), pobranie z niego składowych R, G, B i przypisanie ich temu punktowi;
- numeryczny model terenu – NMT (ang. Digital Terrain Model - DTM) - wynikowy NMT ma strukturę GRID z interwałem (oczko siatki) równym 1,0 m dla obu standardów (rys. 3). Zakłada się, że NMT charakteryzuje się dokładnością (błąd średni wysokości): 0.15 m dla powierzchni odkrytych, utwardzonych, i $0.25 \div 0.30$ m dla powierzchni zalesionych; na stromych, górzystych i zalesionych stokach należy się liczyć z większym błędem;
 - numeryczny model pokrycia terenu – NMPT (ang. Digital Surface Model - DSM) - GRID z interwałem oczka siatki 1.0 m (Standard I) i 0.5 m (Standard II) (rys 3).

4. DYSKUSJA NAD PRZYJĘTYMI PARAMETRAMI SKANOWANIA

4.1. Gęstość chmury punktów ALS

Parametry skanowania, a w tym gęstość chmury punktów, decydują o jakości produktów pochodnych, ale również o kosztach. Gęstość punktów jest więc kluczowym parametrem: większa gęstość oznacza potencjalnie większą dokładność produktów NMT i NMPT (lepsza reprezentatywność małych form terenowych i więcej punktów przenikających przez warstwę roślinności), ale i większy koszt (lot na mniejszej wysokości i wynikający stąd mniejszy zasięg pasa skanowania, a w konsekwencji znaczny wzrost czasu operowania samolotu i więcej danych na etapie opracowania).



Rys. 3. Fragment dwóch wałów przeciwpowodziowych 20x20m (widok 3D chmury punktów i przekrój poprzeczny) w standardzie I i II projektu ISOK

Przyjęta w projekcie ISOK podstawowa gęstość równa 4 punkty/m² oznacza średnią odległość punktów równą 0.50 m. Obrana średnia gęstość jest stosunkowo duża w kontekście potrzeb generowania precyzyjnego NMT. Taka gęstość jak również zwiększona gęstość w standardzie II są przydatna dla odwzorowania małych naturalnych form terenowych, oraz takich ważnych form antropogenicznych jak: wały przeciwpowodziowe, skarpy, nasypy drogowe i inne struktury, kluczowe z punktu widzenia głównego celu projektu (rys. 2). Dokładność wysokościowa NMT zależy od gęstości punktów skaningu. Ujmuje to zależność empiryczna, zaproponowana przez Krausa (2007). Dokładność ta jest proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego z gęstości, co wyrażono za pomocą wzoru (1)

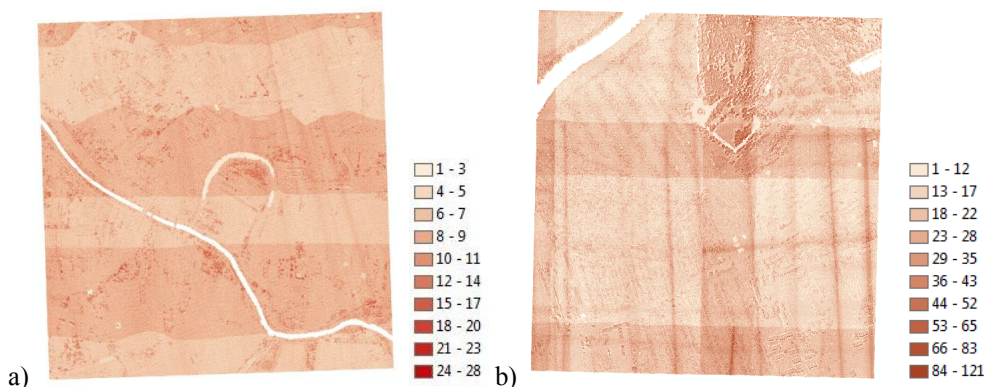
$$m_{h_NMT} [\text{cm}] = \left(\frac{6}{\sqrt{n}} + 120 \tan \alpha \right) \quad (1)$$

gdzie: α - kąt nachylenia stoku, n - gęstość punktów na m^2 .

W podobnych projektach realizowanych w Europie przyjmuje się zwykle mniejszą gęstość (0.5-1.0 pkt/ m^2 w Szwecji, Szwajcarii (www.swisstopo.admin.ch), Danii (Nord-Larsen i Riis-Nielsen, 2010), Finlandii (Ahokas *et al.*, 2008; www.maanmittauslaitos.fi), Hiszpanii (www.ign.es). Gęstości zbliżone do przyjętych w opisywanym projekcie występują w projektach niemieckich. W Holandii przyjęto gęstość 10 pkt/ m^2 (www.swartvast.nl). Gęstość w standardzie II (12 pkt/ m^2) przyjęto dla umożliwienia budowy przestrzennych brył budynków (tzw. model 3D miasta) z danych ALS i automatyzacji tego procesu oraz dla umożliwienia wykonania dokładnego dwuwymiarowego modelowania hydraulicznego w ramach ISOK. Warto zwrócić uwagę na wymóg w tym standardzie dwóch niezależnych nalotów o prostopadłym układzie szeregów, każdy z gęstością 6 p./ m^2 . Pozwala to osiągnąć dwa cele:

- zmniejszenie „martwych pól” (tj. obszarów pozbawionych danych z uwagi na przeszkody, głównie wysokie budynki),
- wyeliminowanie ewentualnej konieczności użycia helikoptera zamiast samolotu jako platformy.

O gęstości chmury punktów decyduje kilka czynników. Różne czynniki decydują o gęstości punktów w linii skanowania, oraz gęstości linii w kierunku lotu. W praktyce zaś rozkład gęstości zależy od konstrukcji skanera, parametrów pracy skanera, parametrów lotu (prędkość, wysokość), wzajemnego pokrycia szeregów, stabilizacji lotu, terenu i jego pokrycia. Jest on bardzo zróżnicowany i sięga od kilku do kilkudziesięciu punktów na metr kwadratowy. Dąży się do równoważenia gęstości punktów obydwu kierunkach. W projekcie postawiono warunek, aby stosunek średniej odległości punktów w linii do odległości linii zawierał się w przedziale 1:1.5 ÷ 1.5:1.



Rys. 4. Przykład rozkładu gęstości chmur punktów [p./ m^2] w standardzie I - sekcja M-34-79-D-d-2-2-2 (a) i II - sekcja M-33-59-D-a-2-3-3 (b) projektu ISOK

4.2. Dopuszczalny kąt poprzeczny skanowania

Kąt skanowania ma związek z penetracją impulsów laserowych przez warstwę roślinności, im większy kąt, tym mniejsza penetracja. Z tego powodu ogranicza się ten kąt, zwykle do $\pm 20^\circ$, kosztem mniejszej wydajności skanowania (i wzrostu kosztów). W projekcie przyjęto kompromisowo ograniczenie kąta skanowania do $\pm 25^\circ$, a dla obszarów niezalesionych do $\pm 30^\circ$.

4.3. Podział obszaru na bloki LiDAR

Obszar opracowania dzieli się na bloki LiDAR, stanowiące wyodrębnione jednostki obszarowe. Obszary te kryje się równoległymi szeregami LiDAR, z zachowaniem pokrycia poprzecznego i dodatkowymi szeregami poprzecznymi. Pozwala to na łączne wyrównanie sytuacyjne i wysokościowe danych z wykorzystaniem wzajemnych pokryć szeregów, oraz dodatkowych płaszczyzn, pomierzonych w terenie. Takimi płaszczyznami są zwykle dachy dwuspadowe. Ważnym parametrem bloku jest jego długość, tożsama z maksymalną długością szeregów. Narastające z upływem czasu błędy orientacji mierzonej w locie przez GPS/INS są powodem ograniczenia długości szeregów do około 40÷50 km (co odpowiada około 10 minutom lotu).

4.4. Terminy wykonania nalotów lotniczego skanowania laserowego

Zaletą lotniczego skaningu laserowego jest częściowa penetracja impulsów przez warstwę roślinności. Penetracja ta jest jednak ograniczona i w praktyce unika się skanowania przy pełnej wegetacji roślin. To istotnie ogranicza długość sezonu przydatnego dla takich prac. W projekcie ten okres jest ograniczony dla obszarów standardu I. Dla miast (standard II) zrezygnowano z tego ograniczenia, aby umożliwić efektywniejsze wykorzystania sprzętu fotolotniczego w całym okresie trwania projektu. Jest to kompromis, częściowo usprawiedliwiony większą gęstością skanowania w miastach, a więc i większą penetracją w obszarach zadrzewionych.

4.5. Rejestracja kamerą cyfrową.

Wraz ze skanowaniem laserowym, wykonuje się rejestrację kamerą cyfrową o średniej rozdzielczości. Na etapie opracowania zdjęcia te służą do „kolorowania” chmury punktów. Wymóg synchronicznej w czasie rejestracji skanerem i kamerą ogranicza porę dnia przydatną dla takiej rejestracji. W Standardzie I dopuszcza się rejestrację fotograficzną w innym terminie niż skanowanie ALS. Umożliwia to operowanie skanerem również w nocy. Takiej możliwości nie dopuszcza się w obszarach z zabudową wielokondygnacyjną (Standard II), ponieważ spowodowałyby to widoczne błędy metodyczne kolorowania punktów chmury w obszarze budynków.

4.6. Organizacja odbiorów i kontrola jakości produktów

W tak złożonym pod względem technicznym i organizacyjnym projekcie jak ISOK szczególnego znaczenia nabiera proces przekazywania produktów do zamawiającego i kontrola ich jakości. Proces ten utrudnia fakt, że w opracowaniu bierze udział wiele podmiotów produkcyjnych, wyposażonych w zróżnicowany sprzęt, mających różne doświadczenia i nawyki. Zamawiający – GUGiK – jest urzędem państwowym, nieposiadającym „mocy produkcyjnych” do takich zadań. Stosowaną w kraju praktyką jest

w przypadkach tak dużych projektów powoływanie, w drodze niezależnego postępowania przetargowego, podmiotu do monitorowania realizacji projektu, organizacji odbiorów etapowych, kontroli jakości produktów i ich przekazywanie do PZGiK. Taki podmiot, określany jako Inspektor Nadzoru i Kontroli – INiK, został wyłoniony. Jest to konsorcjum firm. Koszt prac realizowanych przez INiK wyniósł około 7% kosztów związanych ze skanowaniem w całym projekcie ISOK. Dostawy produktów projektu ISOK zostały podzielone na 18 etapów dla każdego wykonawcy, co stanowi łącznie przy 6 wykonawcach, 108 odbiorów. Warunki techniczne zadań INiK dokładnie specyfikują zakres i kryteria kontroli. Kontrola ta obejmuje również kontrole terenowe. Jednostką kontroli jest blok LiDAR, tj. obszar nalotu opracowany w jednym i jednorodnym ciągu technologicznym, o średniej powierzchni 200-400 km². Taki blok otrzymuje akceptację, jeśli wszystkie produkty z tego obszaru przejdą pozytywnie kontrolę jakości.

5. WNIOSKI

Trwa trzeci, ostatni rok realizacji projektu ISOK. Pomimo bardzo złożonej organizacji projektu, jego realizacja przebiega bez opóźnień, zgodnie z zakładanym harmonogramem. Wyniki kontroli wskazują, że uzyskiwane parametry dokładnościowe są nieco wyższe od zakładanych w warunkach technicznych. Może to wskazywać na to, że przeprowadzona na wstępie ocena kosztów, wydajności i parametrów dokładnościowych produktów nie rozminęła się z praktyką. Ogólnie, przyjęte parametry nie odbiegają istotnie od „dobrej praktyki” podobnych rozwiązań stosowanych w świecie.

LITERATURA

Ahokas E., Kaartinen H. & Hyypä J. On the quality checking of the airborne laser scanning-based nation wide elevation model in Finland The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008

EXCIMAP - European Exchange Circle on Flood Mapping. Handbook on good practice on flood mapping in Europe, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, The Netherlands, 2007.

Kraus K. Photogrammetry. Geometry from Images and Laser Scans (Second Edition). Walter de Gruyter. Berlin, New York, 2007

Nord-Larsen T. & Riis-Nielsen T. Developing an airborne laser scanning dominant height model from a countrywide scanning survey and national forest inventory data. Scandinavian Journal of Forest Research, vol. 25, pp. 262-272, 2010

Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dn. 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, L 288/27, 2007

Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej, Rozporządzenie Ministra Środowiska, Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, Ministra Administracji i Cyfryzacji oraz Ministra Spraw Wewnętrznych z dnia 21 grudnia 2012 r. w sprawie opracowywania map

zagrożenia powodziowego oraz map ryzyka, Warszawa, Polska, 22 January 2013 r., poz. 104.

www.ign.es/PNOA/vuelo_lidar.html

www.maanmittauslaitos.fi/en/maps-5

www.swartvast.nl/ahn_meerinfo.php

www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/en/home/products/height/dom_dtm-av.html

GENERATION OF COUNTRYWIDE REFERENCE DIGITAL TERRAIN MODEL FROM AIRBORNE LASER SCANNING IN ISOK PROJECT

KEYWORDS: Airborne Laser Scanning (ALS), Digital Elevation Model (DEM: DTM and DSM), LiDAR survey guide, technical specification, quality control (QC)

Summary

The paper analyzes the selection of main parameters of ALS system having an impact on acquisition of digital elevation models described by the assumed and exorbitant qualitative characteristics on the basis of airborne laser scanning project organized as a part of recommendations included in the Floods Directive in Poland. Such an analysis was the basis for determining conditions for a huge project, whose implementation is still ongoing, as well as its organizational and economic possibilities. Another subject for consideration was the scope of the planned works and time limits for their implementation that imposed the schedule of the project with respect to the efficiency of the work. Among the technical characteristics the authors investigated the density of the LiDAR points, georeferencing of point clouds, meteorological conditions during data acquisition and parameters describing the accuracy of the final products, namely digital elevation models, were also investigated. In such a complex project (the division of the whole project for subareas, many contractors, several final products and many stages of delivery product acceptance as well as quality control are key issues, whose effectiveness is proved by good organization, their scope and the adopted criteria.

Dane autorów:

dr hab. inż. Zdzisław Kurczyński, prof. PW
e-mail: kurczynski@wp.pl
telefon: 22 234 76 94

mgr inż. Krzysztof Bakula
e-mail: k.bakula@gik.pw.edu.pl
telefon: 22 234 76 94