

LOTNICZE SKANOWANIE LASEROWE KRAKOWA

AIRBORNE LASER SCANNING OF CRACOW

Ireneusz Jędrychowski

Biuro Planowania Przestrzennego
Urząd Miasta Krakowa

SŁOWA KLUCZOWE: lotnicze skanowanie laserowe, LIDAR, ALS.

STRESZCZENIE: Pozyskanie informacji wysokościowej o istniejących elementach pokrycia terenu, a także o samym terenie jest obecnie czymś oczywistym. Dane te są wręcz niezbędne do właściwego wypełniania zadań samorządu, szczególnie w planowaniu przestrzennym i architekturze, a także w wielu innych dziedzinach. Wiele miast zdecydowało się na tworzenie trójwymiarowych modeli. Wybrane technologie są różne. W Warszawie wskazano na tworzenie trójwymiarowego modelu miasta na podstawie zdjęć lotniczych. Biuro Planowania Przestrzennego Urzędu Miasta Krakowa zdecydowało się pozyskać informacje wysokościowe za pomocą lotniczego skanowania laserowego (znanego pod nazwą LIDAR lub ALS). Referat przybliży efekty lotniczego skanowania laserowego Krakowa.

1. WPROWADZENIE

Przed utworzonym w grudniu 2003 r. Biurem Planowania Przestrzennego Urzędu Miasta Krakowa postawiono trudne zadanie przyspieszenia prac nad planami zagospodarowania przestrzennego. Uchwalone plany miejscowe na początku 2003r. stanowiły 1,7 % powierzchni miasta. Aby wyjść z impasu, oprócz uchwalania kolejnych dokumentów (Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta, program prac planistycznych) i stworzenia jednostki składającej się z kompetentnych i zdolnych pracowników, niezbędne było również pozyskanie szeregu danych umożliwiających właściwe przygotowanie powstających planów zagospodarowania przestrzennego. Wśród pilnych potrzeb znaczące miejsce zajmowała informacja o wysokościach istniejących obiektów. Dane te, tak istotne dla planowania przestrzennego, nie były dotąd precyzyjnie określone. Podjęto próby pozyskania trzeciego wymiaru korzystając z metod fotogrametrycznych. Bazą do uzyskania informacji wysokościowych były barwne stereoskopowe zdjęcia lotnicze wykonane w skali 1:13 000. Efekt podjętych prób nie był zadowalający. Niestety tą drogą uzyskano informacje jedynie o większych obiektach. Brak było danych o mniejszych budynkach, o detalach obiektów większych, o budowlach technicznych. Brakowało także bardzo istotnej informacji o występującej zieleni. Każdorazowe pozyskanie informacji z modelu stereoskopowego wiązało się z zewnętrznym zleceniem, gdyż wymagało użycia specjalistycznego sprzętu oraz

oprogramowania, w które Biuro Planowania Przestrzennego nie było wyposażone. Istniała duża potrzeba pozyskania informacji dokładniejszej oraz o znacznie większym stopniu szczegółowości. Postanowiono sprawdzić w praktyce efekty skanowania laserowego.

Skanowanie laserowe często określane akronimami LIDAR (LIght Detection and Ranging) lub ALS (Airborne Laser Scanning), można w uproszczeniu porównać do pomiaru odległości, gdzie dalmierz umieszczony jest na urządzeniu latającym (samolot lub helikopter). Określeniu odległości towarzyszy pomiar nachylenia platformy z głowicą skanującą (INS) oraz współpraca z systemem GPS. Integracja tych systemów pomiarowych pozwala określić położenie punktu terenowego w dowolnym układzie współrzędnych. W efekcie pomiaru zostaje wygenerowana chmura punktów o znanych współrzędnych płaskich oraz wysokości. W trakcie nalotu można jednocześnie wykonać zdjęcia lotnicze i wykorzystać je do sporządzenia tradycyjnej ortofotomapy (Jędrychowski I., 2007b).

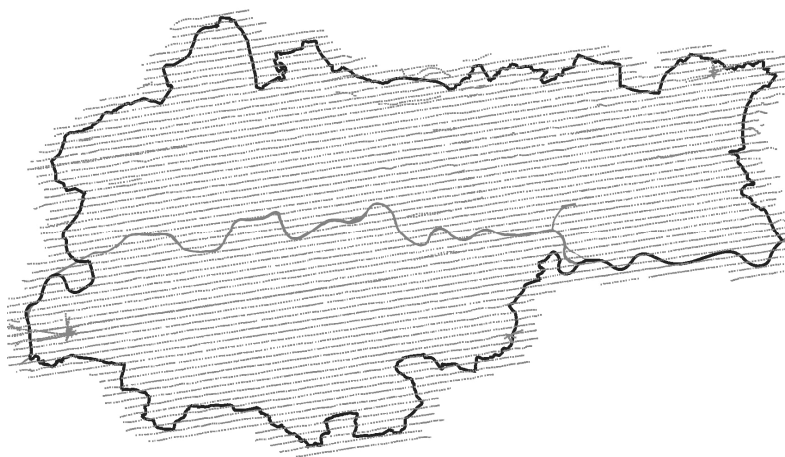
W 2004 r. Biuro Planowania Przestrzennego Urzędu Miasta Krakowa zleciło wykonanie lotniczego skanowania laserowego dla otoczenia Ronda Grunwaldzkiego i Wawelu. Śmigłowiec z zainstalowanym skanerem TopEye Mk II zeskanował obszar o powierzchni ponad 2 km². Pomiar odbywał się z prędkością około 45 km/h, a średnia wysokość nalotu wynosiła 300 m nad powierzchnią terenu. Zarejestrowano 3,7 miliona punktów, co dało średnią gęstość na poziomie 1,5 pkt/m² (Jędrychowski, 2007a). Było to drugie zastosowanie lotniczego skanowania laserowego w Polsce. Efekty nalotu w Krakowie zostały praktycznie wykorzystane przez zamawiającego. Mimo stosunkowo małej gęstości, lokalnie dochodzącej do 3 pkt/m², potencjał tych danych był olbrzymi. Zalety tej technologii zostały docenione, uznano tą technikę za przynoszącą najlepsze i najbardziej szczegółowe dane. Dodatkowo do obsługi tak pozyskanego modelu oprócz oprogramowania nie były wymagane specjalne urządzenia (jak karta grafiki 3d i specjalne okulary w przypadku prac z modelami stereoskopowymi). Poza Biurem Planowania Przestrzennego także pracownicy innych jednostek Urzędu Miasta Krakowa (wydziały: Architektury i Urbanistyki oraz Strategii i Rozwoju Miasta) sygnalizowali potrzebę zasilania danymi z trzeciego wymiaru. Zapadła decyzja o pozyskaniu informacji wysokościowych dla całego Krakowa za pomocą lotniczego skanowania laserowego.

2. NALOT I JEGO REZULTATY

Biuro Planowania Przestrzennego Urzędu Miasta Krakowa w 2005 r. ogłosiło przetarg w celu pozyskania chmury punktów dla całego Krakowa. Spotkał się on z dużym zainteresowaniem potencjalnych wykonawców. Jednak nie zakończył się pozytywnie i w 2006 r. został ponownie ogłoszony. Tym razem procedura przetargowa zakończyła się podpisaniem umowy z konsorcjum: Estereofoto Geoingenharía S.A. z siedzibą w Portugalii, oraz Eurosystem Sp. z o.o., z siedzibą w Chorzowie. Nalot został wykonany w okresie jesiennym po zakończeniu czasu wegetacji. Wykorzystano system skanowania laserowego FLI-MAP 400 zainstalowany na śmigłowcu. Jego podstawowe parametry techniczne zestawiono w tabeli (Tab 1). Wysokość nalotu wynosiła 350 m nad powierzchnią terenu. Uzyskano chmurę punktów o gęstości wynoszącej co najmniej 12 pkt/m² dla całego Krakowa. Na obszarze opracowania występują rejony o większej gęstości od 16 pkt/m² do 20 pkt/m². Opracowanie objęło cały Kraków wraz z bliskim otoczeniem (Rys. 1)

Tab 1. Podstawowe parametry techniczne systemu FLI-MAP 400 (FLI-MAP, 2007)

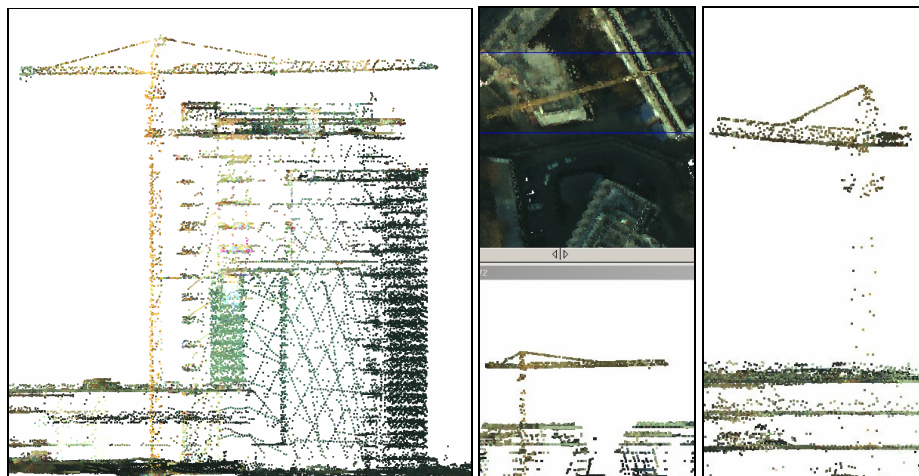
PRODUCENT	FUGRO
PLATFORMA	Helikopter
MIN/MAX WYSOKOŚĆ LOTU	50/400 m
TYP SKANERA	lustro obrotowe (<i>Rotating mirror</i>)
KĄT SKANOWANIA	60°
ZASIĘG POPRZECZNY SKANOWANIA	1,14 wysokości ponad terenem
ROZBIEŻNOŚĆ WIĄZKI	0.45 mR
TERENOWY WYMIAR PLAMKI	5.7 cm (przy wysokości 100 m ponad terenem)
DŁUGOŚĆ FALI	1500 nm
CZĘSTOTLIWOŚĆ SKANOWANIA	150 Hz
GĘSTOŚĆ PUNKTÓW	50 pkt/m ² (wys. 100 m nad ter. v = 20 m/s), maksymalnie 175 pkt/m ²
DOKŁADNOŚĆ POZIOMA/ PIONOWA	0.08 m/0.05 m
REJESTRACJA ODBIĆ	Tak – do 4 odbić
DODATKOWE URZĄDZENIA	Cyfrowe kamery fotograficzne i video
WYMIARY SKANERA	50 x 30 x 30 cm
GPS	2 x Trimble DB950 L1/L2, 10 Hz
INS	Applanix PosAV 410, 200 Hz (V5)



Rys. 1. Trasy wykonanego nalotu

Podczas skanowania wykonano także zdjęcia cyfrową kamerą małoformatową o matrycy posiadającej 11 milionów pikseli. Zarejestrowano około 13 000 zdjęć wykorzystanych następnie do sporządzenia ortofotomapy o pikselu wynoszącym 10 cm w terenie. Z powodu terminu ich wykonania opracowanie charakteryzuje się mało kontrastowymi barwami (drzewa utraciły liście, trawy wyblakły) oraz długimi cieniami (szczegóły terenowe w nich są jednak widoczne i łatwe do interpretacji). W trakcie nalotu zarejestrowano dodatkowo za pomocą skanera liniowego składowe rgb obiektów terenowych i przypisano je do odpowiednich punktów. Dzięki temu możliwy jest kolejny sposób wizualizacji chmury punktów, obok wykorzystania intensywności odbicia impulsu (efekt czarno-białej fotografii) oraz przypisania barwy stopniom wysokościowym (przedstawienie hipsometryczne). Pozyskanie takich danych umożliwia opracowanie „prawdziwej” ortofotomapy, bez konieczności wykonywania zdjęć. Jest to czytelny sygnał o prawdopodobnym kierunku rozwoju, mogącym zmniejszyć rolę zdjęć lotniczych (zarówno analogowych jak i cyfrowych), pod warunkiem wykonywania nalotu mającego na celu skanowanie laserowe. W przypadku opracowania dla Krakowa wykorzystano te dane i wygenerowano „prawdziwą” ortofotomapę o pikselu wynoszącym 50 cm w terenie. Według informacji producenta za pomocą systemu FLI-MAP 400 można uzyskać dane umożliwiające wygenerowanie „prawdziwej” ortofotomapy o pikselu wynoszącym 15 cm w terenie.

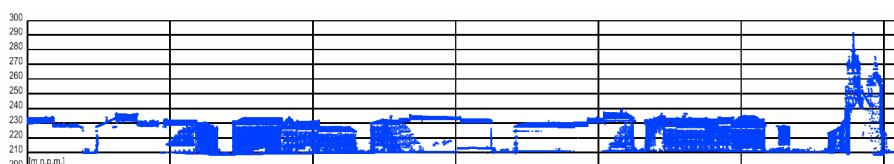
Tak duża gęstość skanowania (przekraczająca 12 pkt/m²) spowodowała bardzo dobre reprezentowanie obiektów istniejących. Został utrwalony stan przestrzenny w momencie wykonania nalotu. W oparciu o pozyskane dane można wykonać wierną, trójwymiarową makietę miasta. Oprócz informacji o stałych elementach pokrycia terenu zarejestrowane zostały także obiekty tymczasowe (łącznie z pojazdami). Dzięki temu powstał bardzo interesujący materiał umożliwiający wykonywanie różnorodnych analiz np. dotyczących prowadzonych inwestycji budowlanych lokalizowanych za pomocą wysokich żurawi budowlanych, doskonale widocznych na tle niższych elementów pokrycia terenu (Rys. 2) 0



Rys. 2. Przykłady zarejestrowania punktów na dźwigu budowlanym

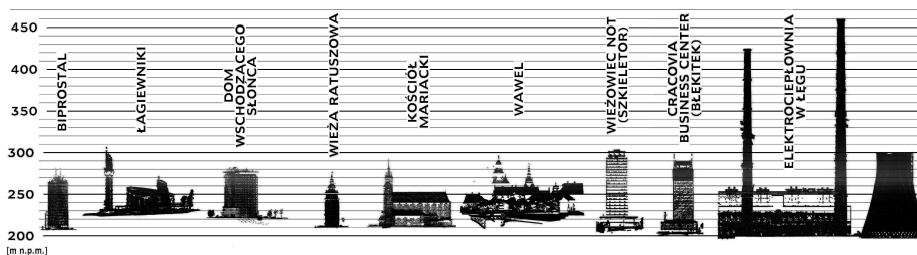
3. WYKORZYSTANIE OPRACOWANIA

Uzyskane dane są wykorzystywane głównie w Biurze Planowania Przestrzennego Urzędu Miasta Krakowa. Informacje wysokościowe z chmury punktów są podstawowym materiałem używanym dla celów określenia dopuszczalnej wysokości zabudowy. Praktycznie dla każdego obszaru, dla którego Biuro Planowania Przestrzennego opracowuje plany miejscowe, wykonuje się szereg analiz, tworzy przekroje przez chmurę punktów (Rys. 3), oraz mapy hipsometryczne i spadków. Wykonuje się także wizualizacje chmury punktów z zadanych miejsc obserwacyjnych (punktów widokowych), a także wizualizacje planowanych obiektów, łącznie z punktami powstałymi podczas skanowania.



Rys. 3. Przykład przekroju przez chmurę punktów

Poza obszarami planów zagospodarowania przestrzennego dane te są wykorzystywane do określenia sylwetki miasta, badania relacji wysokościowych pomiędzy grupami obiektów lub wręcz pojedynczymi budynkami (Rys. 4).



Rys. 4. Określenie relacji wysokościowych pomiędzy wybranymi obiektami.

Oprócz prac planistycznych dane te wykorzystuje się dla potrzeb Wydziału Architektury i Urbanistyki, w sprawach, gdzie zależności wysokościowe są szczególnie istotne dla wydania właściwej decyzji. Również Wydział Strategii i Rozwoju Miasta znalazł zastosowanie pozyskanych danych tworząc animacje wizualizujące Kraków i wykorzystując je do celów promocyjnych. Opracowanie takie zastało załączone m. in. do oferty terenów inwestycyjnych wydanej na płytach DVD.

Bardzo szybka reakcja krakowskich uczelni na powstanie opracowania zakończyła się udostępnieniem im fragmentów danych umożliwiających prowadzenie badań naukowych, których efekty w postaci publikacji są już widoczne. Także Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie uzyskał dane z części miasta. Na ich podstawie ma wykonać testy określające możliwość użycia danych lidarowych w procesie budowy modelu hydraulicznego oraz wyznaczenia stref zagrożenia powodziowego.

W najbliższej przyszłości planuje się w ramach potrzeb oraz możliwości opracowanie na podstawie pozyskanych danych modeli wektorowych. W przypadku rozwinięcia metod automatycznej detekcji budynków na podstawie chmury punktów, przetworzeniu poddane zostaną dane z całego miasta. Efekt w postaci wektorowego modelu zabudowy oprócz wykorzystania w Urzędzie Miasta Krakowa zostanie udostępniony poprzez Google Earth. Z powodu dużej liczby inwestycji prowadzonych w Krakowie pozyskane dane z każdym dniem stają się mniej aktualne. Powstają obiekty znacząco wyróżniające się w panoramie miasta. Wskazana byłaby aktualizacja chmury punktów wykonywana ze stałą częstotliwością np. co 3 lata, lecz obecnie nie są podejmowane czynności rozstrzygające o takich aktualizacjach.

4. WNIOSKI

Oczekiwania pokładane w informacjach powstałych na podstawie lotniczego skanowania laserowego zostały spełnione. Biuro Planowania Przestrzennego Urzędu Miasta Krakowa uzyskało bardzo bogaty zasób danych, wykorzystywany nie tylko w planowaniu przestrzennym, lecz także i do innych prac oraz badań naukowych. Po prawie roku korzystania z danych lidarowych krystalizują się następujące wnioski:

- zwiększanie gęstości punktów wpływa bardzo korzystnie na oddanie szczegółów pokrycia terenu, a tym samym na jakość wizualizacji, przekrojów i tworzonych opracowań. Z tego powodu zalecana gęstość skanowania laserowego powinna przekroczyć 10 pkt/m²,
- efekt skanowania laserowego o dużej gęstości wymaga dużych i szybkich zasobów dyskowych,
- większość obecnie istniejącego oprogramowania obsługującego efekty skanowania laserowego nie jest dostosowana do obsługi opracowań dotyczących większych powierzchni o dużej gęstości punktów. Przeciętnie pozwalają one na jednoczesną pracę z użyciem około 30 mln. Punktów,
- składowe rgb przypisane do odpowiednich punktów pozwalają na uzyskanie „prawdziwej” ortofotomapy, a także obrazów odpowiadających wizualnie fotografiom ukośnym bez konieczności wykonywania zdjęć,
- lotnicze skanowanie laserowe obok ortofotomapy wydaje się być idealnym narzędziem do monitorowania zmian zagospodarowania przestrzennego (przy założeniu stałej aktualizacji).

Kraków jest jednym z trzech miast w Polsce, dla których zrealizowano lotnicze skanowanie laserowe. Jednocześnie jest pierwszym i jak dotąd jedynym (październik 2007 r) miejscem w Polsce gdzie wykonane opracowanie charakteryzuje się tak wysoką gęstością punktów. Liczba przeprowadzonych w kraju nalołów od 2004 r. przekroczyła już 10 i ma tendencję zwyżkową – napawa to nadzieją, że opracowania tego typu staną się powszechne.

5. LITERATURA

FLI-MAP, 2007: <http://www.flimap.com>

Jędrychowski I., 2007a. Lotnicze skanowanie laserowe w Polsce. *Polski Przegląd Kartograficzny*, T. 39, nr 2, s. 159-163.

Jędrychowski I., 2007b. Numeryczny model zespołów urbanistycznych w Krakowie *Roczniki Geomatyki* – w druku

AIRBORNE LASER SCANNING OF CRACOW

KEY WORDS: Airborne Laser Scanning, LIDAR, ALS

SUMMARY: Nowadays, gathering information about existing element's heights and the terrain itself is obvious. This data is essential to perform a number of tasks dealt with by the public administration, especially in the spatial planning, architecture and other fields. Many cities have decided to create spatial models (3D). The techniques of choice vary from one place to another. In Warsaw, urban spatial model is composed of aerial photographs. The Spatial Planning Office Municipality of Krakow decided to gather spatial information by airborne scanning (called LIDAR or ALS). This lecture gives an overview of airborne scanning of Krakow.

dr inż. Ireneusz Jędrychowski
e-mail: ireneusz.jedrychowski@um.krakow.pl
telefon: 012 616 85 37
fax: 012 616 85 43