



# ISOK od kuchni

Ponad rok po podpisaniu umów na lotnicze skanowanie laserowe 60% obszaru Polski w CODGiK-u dostępne są już pierwsze dane wysokościowe z tego projektu. Na przykładzie jednego z 6 konsorcjów postanowiliśmy pokazać, ile trzeba było włożyć wysiłku, by powstały te chmury, modele terenu i zdjęcia lotnicze.

## Jerzy Królikowski

**P**rzetarg na pozyskanie szczegółowych danych wysokościowych w technologii LiDAR szykowany był przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii już wiele miesięcy przed ogłoszeniem. Spora wartość prac sprawiła, że na zamówienie ostrzyła sobie zęby praktycznie każda większa firma fotogrametryczna w Polsce i wiele zagranicznych. Niektóre krajowe podmioty z myślą o tym przedsięwzięciu zainwestowały nawet we własne samoloty i systemy skanowania. Inne porozumiały się w kwestii wykorzystania sprzętu z zagranicznymi kontrahentami, którzy mieli już spore doświadczenie w takich projektach.

Wyniki przetargu, ogłoszone pod koniec 2010 roku, wzbudziły w branży spore emocje i kontrowersje. Tort wart blisko 70 mln zł podzielono między 5 konsorcjów kierowanych przez firmy: OPGK Olsztyn, Geopolis, MGGP SA, Eurosystem, Tukaj Mapping Central Europe, oraz występującą samodzielnie spółkę MGGP Aero. W tym gronie żadne przedsiębiorstwo nie miało doświadczenia w tak ogromnym projekcie, a część nie miała nawet większej styczności z samą technologią LiDAR. Wygrana w przetargu była więc skokiem na głęboką wodę, choć nie dla wszystkich ta woda była równie głęboka. O dobrym przygotowaniu do zamówienia może mówić bohater artykułu – krakowska firma Tukaj Mapping Central Europe.

Spółka uważa się za pioniera na polskim rynku skanowania, wykorzystuje bowiem jego atuty już od 12 lat, kiedy to powołano w niej Dział Technologii Skaningu Laserowego. Jak wylicza Aleksander Żarkowski, dyrektor operacyjny w TMCE, wspólnie z zagranicznymi partnerami firma brała udział w kilku dużych i prestiżowych projektach – opracowała m.in. numeryczny model terenu dla stanu Luizjana i części Florydy (USA), a także inwentaryzowała

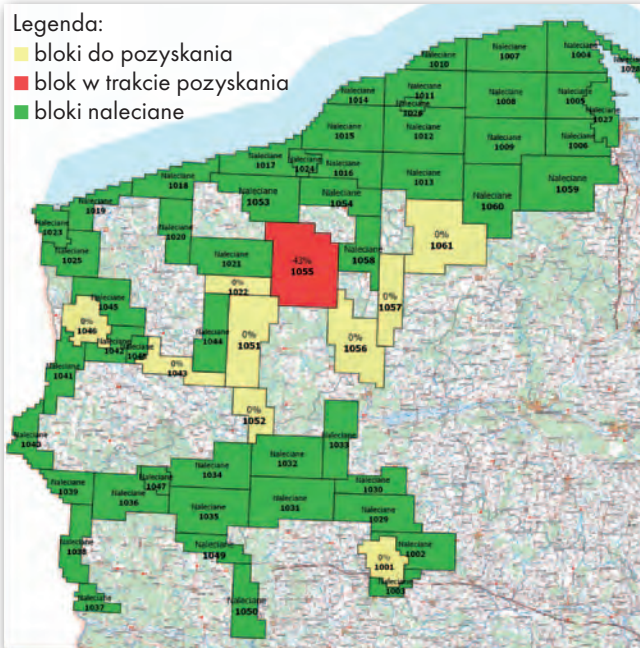
zniszczenia po trzęsieniu ziemi we włoskim mieście L'Aquila. W 2004 i 2006 roku była wymieniana w międzynarodowych raportach jako pionier wdrażania technologii LiDAR. Ponadto jako jedna z pierwszych firm na świecie brała udział w testowaniu oprogramowania LidarCuePack firmy GeoCue.

### • Do biegu gotowi...

Jak wspomina szef produkcji w TMCE Jarosław Nowak, spore doświadczenie przydało się już na etapie przygotowania do przetargu na ISOK. Znając tajniki skanowania laserowego, spółka mogła np. lepiej skalkulować cenę. Była chociażby świadoma, że wymagane przez GUGiK co najwyżej 5-procentowego błędu klasyfikacji chmury punktów nie da się osiągnąć wyłącznie z wykorzystaniem automatycznych narzędzi. Ważnym elementem przygotowań było także zapewnienie sprzętu, gdyż TMCE nie dysponuje własnymi samolotami ani systemami skanowania. Do konsorcjum spółka zaprosiła niemiecką firmę BSF Swissphoto dysponującą flotą nowoczesnych maszyn fotogrametrycznych (o których za chwilę), a także warszawską spółkę NTT System, która zapewniła wsparcie finansowe przedsięwzięcia.

Niemalym wyzwaniem było także przebrnięcie przez wyjątkowo obszerną dokumentację projektową. Zdaniem Aleksandra Żarkowskiego w porównaniu z wymaganiami stosowanymi w podobnych zagranicznych projektach jej treść jest w wielu miejscach nowatorska.

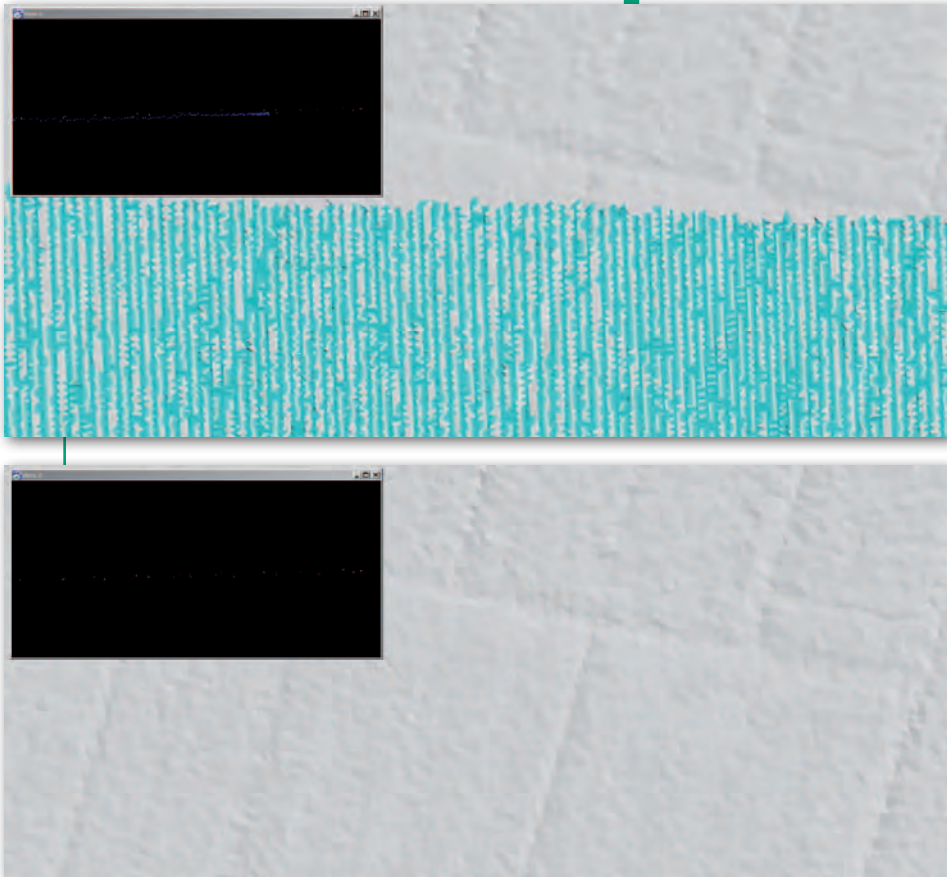
GUGiK przyjął bowiem podstawową gęstość skanowania na 4 pkt/m<sup>2</sup>, podczas gdy w Szwecji i Finlandii było to nie więcej niż 1 pkt. Ale z kolei zagrożona powodziami Holandia zamówiła chmurę o gęstości aż 10 pkt/m<sup>2</sup>.



Mapa zaawansowania pozyskania danych LiDAR dla obiektu I projektu ISOK (zamówienie podstawowe i uzupełniająca), stan na 15 maja 2012 r.

Wysokie wymagania GUGiK wymuszają lot na niższym pułapie, a więc zwiększenie pasa skanowania i jednocześnie wydłużenie czasu lotu. Z drugiej strony taka chmura lepiej odzwierciedla wielkie formy terenowe, których w dolinach nie brakuje, a wysokość gruntu jest mniej zafałszowywana przez roślinność. Analizując inne parametry, można – zdaniem Aleksandra Żarkowskiego – zauważyć, że stanowią one wyważony kompromis między oczekiwaną jakością danych a szansą ich pozyskania w przyjętych ramach czasowych i przy dostępnym potencjale wykonawczym.

Dzięki niskiej cenie (a było to jedyne kryterium w przetargu) firmie TMCE przypadł największy fragment zamówienia obejmujący skanowanie Pomorza, północnej Wielkopolski i części woj. lubuskiego – łącznie 33 782 km<sup>2</sup>. Od momentu podpisania umów, czyli 4 lutego 2011 r., konsorcja nie miały już chwili do stracenia, gdyż wraz z ustąpieniem pokrywy śnieżnej musiały poderwać swoje maszyny do pomiarów. W pierwszej kolejności miały jednak sporządzić szczegółowy plan jakości, w którym dokładnie opisano sprzęt, oprogramowanie i procedury przewidziane do wykorzystania przy realizacji zamówienia.



Numeryczny model terenu przed i po wykorzystaniu funkcji cut overlaps

Pierwsza niemiła niespodzianka pojawiła się już na samym początku. Była nią wyjątkowo długo utrzymująca się pokrywa śnieżna uniemożliwiająca skanowanie niektórych obszarów (tj. dla tzw. standardu I), co mocno pokrzyżowało plany części wykonawców (GEODETA 6/2011).

Maszyny TMCE po raz pierwszy zbliżyły się w powietrze w połowie marca. Do momentu rozwinięcia się liści (czyli końca kwietnia) skanowały zarówno obszary, dla których wymagany jest standard I (z gęstością 4 pkt/m<sup>2</sup>), jak i II (12 pkt/m<sup>2</sup>). Po tym terminie wykonywano natomiast zdjęcia lotnicze do kolorowania chmury punktów oraz chmurę w standardzie II, czyli dla miast (z uwagi na wyższą gęstość punktów, mniejszą ilość roślinności na obszarze zabudowanym oraz konieczność przeprowadzania dwóch prostopadłych względem siebie nalołów wpływ wegetacji ma tu mniejsze znaczenie dla dokładności pomiarów).

Jak podkreśla Aleksander Żarkowski, największym wyzwaniem podczas nalołów jest planowanie misji. Przy zwykłych pracach fotogrametrycznych pod uwagę trzeba brać w zasadzie tylko pogodę. Jednak zgodnie z wymaganiami GUGiK-u przy skanowaniu laserowym dochodzi także stan wód, który musi być poniżej określonego poziomu, tzw. stanu brzegowego. Często zdarzało się więc, że mimo wyśmienitej pogody maszyna musiała stać w hangarze. Do tego docho-

dzą jeszcze uwarunkowania operacyjne dotyczące wykorzystania przestrzeni powietrznej, które niekiedy wymuszały prowadzenie nalołów w weekendy lub w nocy (np. nad poligonami).

Te i inne ograniczenia sprawiały, że dogodne warunki trzeba było maksymalnie wykorzystywać. Dlatego w sezonie jesienno-wiosennym w gotowości czekały nawet cztery maszyny i do dwóch poza sezonem. Ponadto TMCE jako jeden z wielu wykonawców zdecydował się na prowadzenie nalołów nawet w nocy. Zdaniem Jarosława Nowaka jest to korzystne rozwiązanie, bo wtedy panuje przecieź znacznie mniejsze zachmurzenie. Intensywne użytkowanie maszyn zrobiło jednak swoje. Kolejną niemiłą niespodzianką okazały się częste awarie sprzętu – zarówno samolotu, jak i instrumentów pomiarowych. Choć przygotowując się do nalołów, TMCE wzięło ten czynnik pod uwagę, to przewidywania w tym zakresie okazały się i tak zbyt optymistyczne – mówi Aleksander Żarkowski. Podobne problemy nękały zresztą także innych wykonawców tego projektu.

## • Latające patenty

Do nalołów TMCE wykorzystuje dwusilnikowe samoloty Piper PA-31-350 Navajo Chieftain, Piper PA-23 Aztec oraz jednosilnikowe Cessna C-206 i Cessna C-208 (o znaczeniu liczby silników w nalołach fotogrametrycznych pisaliśmy w GEODE-

CIE 6/2011). Modele te nie są oczywiście dobrane przypadkowo. Muszą się bowiem charakteryzować wysoką stabilnością lotu oraz niezawodnością. Powinny też mieć zdolność długotrwałego lotu, aby jak najefektywniej wykorzystać sprzyjające warunki meteorologiczne, nie tracąc czasu na międzylądowania – maszyny TMCE w trakcie jednej misji mogły pozostawać w powietrzu nawet do 8 godzin. Samoloty zmodyfikowano na potrzeby lotów fotogrametrycznych, a część z nich przystosowano nawet do operowania dwoma niezależnymi kompletami sensorów (LiDAR + wielkoformatowa kamera lotnicza).

Na pokładach tych maszyn zainstalowano trzy różne typy skanerów: Optech Gemini, Leica ALS-60 oraz Leica ALS-70. Porównanie możliwości pomiarowych tych instrumentów doskonale ilustruje błyskawiczny postęp technologiczny. Najstarszy w tym zastawieniu model Gemini wysyła impulsy laserowe z częstotliwością 33-167 kHz, w przypadku ALS-60 jest to 200 kHz, a w ALS-70 – już 500 kHz. Dwa pierwsze skanery mogą rejestrować do czterech odbić jednocześnie, a najnowszy nie ma w tej kwestii żadnych ograniczeń, co pozwala na dużo efektywniejszą penetrację warstwy roślinności. Dzienna wydajność skanera Gemini to około 600 km<sup>2</sup>, a ALS-70 – aż 1500 km<sup>2</sup>! Ten ostatni skaner wyróżnia ponadto możliwość zdefiniowania wzoru, w jaki będą się układały punkty pomiarowe na powierzchni terenu. Pozwala to na elastyczny dobór parametrów gęstości i równomierności punktów. W przypadku projektu ISOK Tukaj Mapping stosuje wzór trójkątny.

Jeśli chodzi o cyfrowe kamery lotnicze, TMCE wykorzystuje trzy typy instrumentów serii Vexcel UltraCam – modele D, X oraz Xp o matrycy odpowiednio 86, 136 i 196 MPx. Są one zespołami złożonymi z ośmiu niezależnych obiektywów i matryc, z których cztery rejestrują obraz panchromatyczny, a pozostałe – składowe barw RGB oraz zakres bliskiej podczerwieni. Finalny obraz powstaje po nałożeniu danych zarejestrowanych na wszystkich tych matrycach. Do rejestracji trajektorii lotu wykorzystywane są systemy GPS/INS firm Applanix oraz NovAtel, które umożliwiają pozyskiwanie danych bez posiłkowania się przy obliczeniach naziemnych stacjami referencyjnymi.

Dzięki wykorzystaniu odpowiedniego sprzętu, dobrej organizacji pracy oraz dłuższemu niż zwykle tegorocznemu sezonowi wiosennemu do połowy maja firmie TMCE udało się pozyskać dane z lotniczego systemu skanowania dla 28 079 km<sup>2</sup>, czyli dla 83% obszaru całego zamówienia (włączając w to zamówienie



uzupełniającej). Spółka wyprzedziła tym samym początkowe założenia, dlatego jesień będzie ostatnim sezonem nalotów – z satysfakcją podsumowuje Aleksander Żarkowski.

## • Danych cięcie-gięcie

Nalot to jednak tylko część sukcesu. Według Jarosława Nowaka o pozycji lidera w projektach związanych ze skanowaniem laserowym w dużej mierze decyduje sposób organizacji pracy kameralnej, dlatego żaden z wykonawców nie zdradzi sekretów swojego warsztatu. Schemat działań we wszystkich konsorcjach jest jednak podobny. Na początek – wstępna kontrola danych, co można realizować na bieżąco jeszcze w czasie nalotu lub tuż po jego ukończeniu. Następnie chmurze punktów automatycznie nadawana jest georeferencja. Trzeci etap to bardziej dogłębna kontrola, która obejmuje zarówno ocenę wzajemnej orientacji danych, jak i sprawdzenie ich dokładności w terenie. Do tego drugiego celu na punktach osnowy wysokościowej 1 i 2 klasy realizowany jest pomiar GPS-RTK. Prace te wykazały, że dokładność danych pozyskanych przez TMCE jest lepsza niż 10 cm w poziomie i 7 cm w pionie, czyli znacznie powyżej wymagań GUGiK. Jak zauważa Jarosław Nowak, mankamentem tego etapu jest wątpliwa jakość punktów osnowy – doświadczenie z projektu ISOK pokazuje, że blisko połowa punktów z różnych przyczyn nie nadaje się do wykorzystania. Już na etapie zamawiania punktów osnowy w Centralnym Ośrodku Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej, okazało się, że część punktów uległa zniszczeniu. Weryfikacja terenowa ujawniła kolejne braki oraz uszkodzenia punktów.

Najważniejszy etap prac kameralnych to klasyfikacja chmury punktów na kategorie: leżące na gruncie, niska/średnia/wysoka vegetacja, budowle, szum, tereny pod wodami oraz niesklasyfikowane. Zanim to jednak nastąpi, firma TMCE stosuje funkcję *cut overlaps*. Proces ten polega na wyeliminowaniu z obróbki punktów pozyskanych przy największym kącie skanowania, a więc obciążonych największymi błędami.

Zdecydowaną większość klasyfikacji automatycznie wykonuje oprogramowanie, stosując m.in. algorytmy: *classify ground*, *classify by height from ground*, *classify low*, *classify building*, *classify by echo difference* oraz *classify by centerline*. Istota pierwszego z nich polega na iteracyjnym wyszukiwaniu punktów spełniających zadane kryteria prowadzące do selekcjonowania tych najlepiej oddających powierzchnię terenu. Algorytm dokonuje podziału zbioru na siatkę o zadanym



Finalny numeryczny model pokrycia terenu

oczku i wyszukuje w nim punkt najniższy, przyjmując, iż jest to grunt. Tak utworzony wstępny model zostaje następnie zagęszczany kolejnymi punktami klasyfikowanymi iteracyjnie. Aby badany punkt został zakwalifikowany jako teren, musi spełnić warunki zdefiniowane przez dwa parametry: kąt iteracyjny i odległość iteracyjną, które dobiera się przede wszystkim w zależności od ukształtowania terenu. *Classify by height from ground* umożliwia natomiast klasyfikację punktów w zależności od wysokości nad terenem, *classify low* pozwala na wyszukiwanie punktów poniżej terenu, a błędnie przyporządkowanych do tej klasy. Funkcja *classify building* wyszukuje punkty reprezentujące budynki na podstawie odbić powierzchni dachów. Jej użycie wymaga wcześniejszego utworzenia klasy „teren”. *Classify by echo difference* umożliwia klasyfikację punktów na podstawie różnicy wysokości pierwszego i ostatniego odbicia, a *classify by centerline* – na podstawie odległości od danego elementu wektorowego.

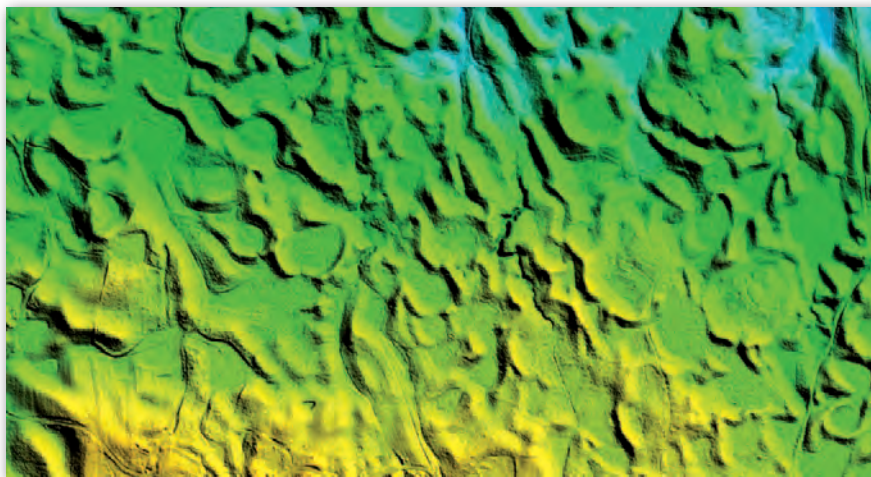
Po zakończeniu automatycznej klasyfikacji niezbędna jest analiza jej rezultatów, będąca częścią klasyfikacji manualnej. Proces polega na wizualizacji danych LiDAR w formie cieniowania rzeźby oraz lokalnym zastosowaniu innych parametrów filtracji niż w procesie automatycz-

nym, a także wykonaniu przekrojów przez dane i przypisaniu punktów do właściwych klas w miejscach, gdzie proces automatyczny nie przyniósł zadowalających rezultatów.

Obróbka danych realizowana jest przede wszystkim w oprogramowaniu TerraSolid, choć firma korzysta również z własnych, specjalistycznych aplikacji i narzędzi przeznaczonych m.in. do kontroli opracowań, tak aby były one zgodne z warunkami przetargu. Wykonawca zadbał także o poprawną komunikację między osobami zaangażowanymi w proces produkcji oraz kontroli (jest ich łącznie około 20). Wypracowano ponadto procedury bieżącego monitorowania postępu prac, cyklicznego raportowania z przebiegu robót i rozwiązywania pojawiających się problemów.

## • Do kontroli

Końcowym efektem prac są: sklasyfikowana chmura punktów w I i II standardzie, numeryczny model terenu oraz powierzchnia terenu (również w dwóch standardach), cyfrowe zdjęcia lotnicze, plik metadanych oraz raport dostawy. Nim jednak produkty trafią do COD-GiK-u, muszą zostać poddane dokładnej kontroli. Biorąc pod uwagę ogrom projektu lotniczego skanowania Polski, GU-



Finalny numeryczny model terenu





Pokolorowana chmura punktów przedstawiająca molo w Sopocie

GiK zdecydował się zlecić to zadanie zewnętrznej firmie w trybie zamówienia publicznego. Przetarg na te prace z ofertą o wartości 5,85 mln zł wygrało konsorcjum w składzie: PGI Compass, Meixner Vermessung, OPEGIEKA Elbląg oraz ProGea Consulting. Co należy do obowiązków tych firm jako tzw. inspektora nadzoru i kontroli (INiK)?

Ogólnie rzecz ujmując, kompleksowa kontrola wykonawców – począwszy od etapu planowania pozyskania danych (INiK sprawdza m.in. plany nalotu, plany etapów, plany jakości), poprzez proces pozyskania danych (raporty codzienne), do ostatecznych wyników danych. Większość z tych zadań to prace kameralne. Wszystkie dane kontrolowane są w zakresie kompletności oraz poprawności formatów. Dla chmury punktów sprawdzane są takie parametry, jak: gęstość i równomierność, względna i bezwzględna georeferencja, poprawność styków bloków LiDAR oraz atrybuty RGB chmury. Najbardziej pracochłonna jest jednak kontrola klasyfikacji, w trakcie której INiK sam wykonuje ich manualną klasyfikację i na tej podstawie ocenia, jaki odsetek punktów trafił do złej klasy.

Ocena NMT składa się natomiast z kontroli wizualnej i terenowej. Pierwsza bazuje na analizie mapy cieniowania rzeźby oraz warstwicznej i ma na celu wskazanie błędów wysokościowych (szczególnie tych powyżej 0,4 m) oraz klasyfikacji punktów. Kontrola terenowa polega na porównaniu danych wysokościowych NMT z profilami terenowymi oraz płaszczyznami kontrolnymi. Dzięki profilom (pomierzonym techniką GPS) możliwe jest zweryfikowanie poprawności wysokościowej modelu. Płaszczyzny kontrolne (sporządzone z wykorzystaniem odbiorników satelitarnych i tachimetrów) pozwalają zaś ocenić georeferencję dostarczonej chmury punktów. INiK wykonuje ponadto ponowny pomiar płaszczyzn referencyj-

nych opracowanych przez wykonawców i porównuje wyniki. Terenowe pomiary kontrolne dowiadywane są do państwowej osnowy wysokościowej 1 lub 2 klasy.

Numeryczny model pokrycia terenu sprawdzany jest wizualnie. Celem tej kontroli jest wskazanie błędów klasyfikacji punktów oraz błędów generowania danych. INiK bada również, czy dane NMPT są tożsame z wybranymi fragmentami NMT (utwardzone powierzchnie) i chmurą punktów, z której został wygenerowany. Podczas kontroli zdjęć lotniczych weryfikacji podlega przede wszystkim zasięg obrazów, termin ich wykonania, wielkość piksela, pokrycie czy brak rejestracji obszarów wyłączonych.

Do prac kontrolnych wykorzystywany jest szeroki wachlarz oprogramowania, m.in. TerraSolid. Kluczowym narzędziem jest jednak opracowana w firmie Compass aplikacja SNIK (System Nadzoru i Kontroli). Umożliwia ona m.in.: sprawdzenie poprawności struktury danych dostarczanych przez wykonawców oraz ich formatów, przeprowadzenie kompleksowej kontroli plików LAS, a także badanie gęstości i równomierności danych LiDAR. SNIK pozwala ponadto na zarządzanie obiegiem dokumentów pomiędzy zamawiającym, wykonawcami oraz INiK, a także na raportowanie postępu prac.

Co się dzieje, gdy INiK wykryje błędy w danych? Jak wyjaśnia Mirosław Guzik, kierownik Działu Fotogrametrii w PGI Compass, raporty z kontroli dostarczane są do GUGiK, który ma 10 dni na zgłoszenie do nich uwag, a następnie przekazuje je wykonawcom. INiK kontaktuje się bezpośrednio z wykonawcami tylko w przypadku merytorycznych wątpliwości co do treści raportów.

Gdy otwierano oferty na kontrolę danych ISOK, niektórzy wykonawcy obawiali się, że zwycięskie konsorcjum – chcąc odegrać się za przegrane zamówienie na skanowanie laserowe kraju – będzie utrudniało im życie. Jednak zda-

niem Aleksandra Żarkowskiego wszelkie obawy były bezpodstawne, a współpraca z firmami kontrolującymi przebiega na profesjonalnym poziomie. O dobrych relacjach między inspektorem, wykonawcami i zamawiającym mówi także Mirosław Guzik. Podkreśla jednocześnie, jak trudne zadanie przypadło konsorcjum kierowanemu przez PGI Compass. Musi bowiem kontrolować dane z różnych obszarów, które opracowywane są z wykorzystaniem odmiennych modeli sprzętu i oprogramowania.

## • Do zasobu i Geoportalu

Jak informuje Główny Urząd Geodezyjny i Kartografii, dotychczas odebrano dane z lotniczego skaningu laserowego oraz produkty pochodne dla około 60 tys. km<sup>2</sup>. Kolejne 15 tys. km<sup>2</sup> jest na etapie kontroli jakości. W ramach nalotów wykonawcy pozyskali już dane dla około 150 tys. km<sup>2</sup> z planowanych około 190 tys. km<sup>2</sup>. Nie odnotowano opóźnień ani w produkcji, ani w kontroli jakości danych. Zakończenie tegorocznego jesiennego sezonu lotniczego, a projektu ISOK – pod koniec 2013 roku.

W kwietniu br. pierwsze chmury punktów i numeryczne modele przyjęto do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego, co oznacza, że można je już nabyć w CODGiK-u zgodnie z obowiązującym od 2004 roku cennikiem. Laserowy NMT kosztuje ok. 20 zł za arkusz w skali 1:5000. Jak informuje ośrodek, średnia wielkość modelu w rozdzielczości 0,5 m i formacie ARC/INFO ASCII GRID wynosi ok. 50 MB (standard I) lub 200 MB (standard II). Pliki w formacie ASCII (XYZ) będą zajmowały natomiast odpowiednio 150 lub 600 MB. Oprócz tego w rozszerzeniu tym dostępne są także modele z dwa razy większym oczkiem siatki.

Wkrótce dane te będzie można także zobaczyć na witrynie Geoportal.gov.pl. GUGiK udostępni je za pośrednictwem trzech usług sieciowych: WMS w postaci mapy hipsometrycznej dynamicznie dostosowującej skalę barw do różnic wysokości w aktualnym zasięgu mapy, WMST w postaci mapy hipsometrycznej o stałej skali barw oraz WMTS w postaci mapy cieniowanej mającej poprawiać czytelność danych hipsometrycznych. Planowana data uruchomienia tych serwisów to koniec września br.

Dzięki tym krokom projekt ISOK będzie mieć ogromne znaczenie nie tylko dla GUGiK-u czy firm uczestniczących w tym przedsięwzięciu, ale też innych użytkowników, w tym także dla przeciętnego geodety i kartografa.

Jerzy Królikowski

Ilustracje: Tukaj Mapping Central Europe