

**OPRACOWANIE SYSTEMU KONTROLI JAKOŚCI REALIZACJI
NALOTÓW FOTOGRAMETRYCZNYCH I SKANINGOWYCH
DLA HISZPAŃSKIEGO NARODOWEGO PLANU ORTOFOTOMAPY
LOTNICZEJ (PNOA)**

**QUALITY CONTROL SYSTEM PREPARATION
FOR PHOTOGRAMMETRIC AND LASER SCANNING MISSIONS
OF SPANISH NATIONAL PLAN
OF AERIAL ORTHOPHOTOGRAPHY (PNOA)**

Antoni Rzonca

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: kontrola jakości, nalot fotogrametryczny, ortofotomapa lotnicza, LiDAR

STRESZCZENIE: Publikacja omawia problematykę organizacji procedury kontroli jakości realizacji nalotów fotogrametrycznych oraz skaningowych na przykładzie wielkoobszarowego projektu PNOA, który realizowany jest cyklicznie dla całego obszaru Królestwa Hiszpanii. Autor omawia zagadnienie kontroli jakości, metody jej prowadzenia, miary oraz ocenę wyników.

1. WPROWADZENIE

Zagadnienie kontroli jakości produktów technologii fotogrametrycznej i skaningu laserowego staje się coraz bardziej istotne w związku z coraz liczniejszą grupą wykonawców i podwykonawców działających na rynku. Efektem tego jest coraz silniejsza konkurencja, obniżanie kosztów, często niestety skutkujące również obniżeniem jakości produktu. Jak wskazuje obserwacja europejskiego rynku usług fotogrametrycznych i skaningowych, popularnym rozwiązaniem problemu kontroli jakości danych jest kontrola traktowana jako odrębne zlecenie, realizowane przez inne podmioty niż firmy wyspecjalizowane w produkcji. Praktyka ta wynika przede wszystkim z rozmiarów projektów, a także ilości oraz specyfiki danych do sprawdzenia, czemu nie są w stanie podołać podmioty zamawiające, na ogół administracja. Urzędy nie posiadają zasobów ludzkich oraz technologicznych wystarczających do przeprowadzenia kontroli, która by dostatecznie zabezpieczała zleceniodawcę przed akceptacją danych o niskiej jakości. Przykładowo, taki właśnie model realizacji zlecenia z kontrolą zewnętrzną wybrano w przypadku projektu ISOK. W Europie istnieją firmy, które specjalizują się w kontroli. Np. w Hiszpanii wykorzystuje się do tych celów firmę Tragsatec S.A. (www.tragsatec.es),

która jest podmiotem publiczno-prywatnym. Na rynku holenderskim istnieje firma Ingenieursbureau Geodelta B.V. również specjalizująca się w kontroli jakości danych.

Autor pragnie przedstawić doświadczenia hiszpańskiej firmy Tragsatec S.A. oraz konsorcjum firm Hifsa S.L. (www.hifsa.com) – Stereocarto S.L. (www.stereocarto.com) dotyczące kontroli jakości danych fotogrametryczno-skaningowych. W ramach tej publikacji autor prezentuje zagadnienie kontroli jakości danych pochodzących bezpośrednio z prac fotolotniczych. Zagadnienie kontroli realizacji nalotu należy utożsamić z jakością danych, gdyż celem nalotu jest pozyskanie danych spełniających odpowiednie wymogi. Autor decyduje się na omówienie jakości realizacji nalotu jako podstawowego, chronologicznie pierwszego w technologii etapu prac, gdzie powstałe błędy na ogół nie mogą zostać naprawione kameralnie zgodnie ze sztuką i skutkują obniżeniem jakości produktu na dalszych etapach procesu technologicznego.

W przypadku działalności firmy Tragsatec S.A. wykonywane są kontrole zewnętrzne. Natomiast w przypadku firm Hifsa S.L. oraz Stereocarto S.L. zarząd podjął decyzję o opracowaniu wewnętrznego systemu kontroli jakości realizacji nalotów fotogrametrycznych i skaningowych celem dbania o jakość produkowanych danych. System kontroli jakości przetestowano przy okazji realizacji nalotów dla hiszpańskiego Narodowego Planu Ortofotomapy Lotniczej (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, PNOA).

2. SYSTEMY KONTROLI JAKOŚCI

2.1. Cel

Celem tworzenia systemu jakości dla danego projektu jest zapewnienie produktom odpowiedniej jakości. Oczywiście przyczyną spadku jakości produktu jest popełnienie błędu na jednym z etapów technologicznych. W niniejszej publikacji autor zajmuje się systemem kontroli jakości danych bezpośrednio pochodzących z nalotu, tzw. danych surowych. Zapewnienie dostatecznej jakości tych danych jest warunkiem koniecznym (ale nie wystarczającym) wygenerowania dobrego produktu. Przez dobry produkt należy rozumieć produkt spełniający wymogi specyfikacji, wykonany według sztuki i wszystkich formalnych reguł zapisanych w prawie i przepisach resortowych (Rozporządzenie MSWiA), jak również standardach międzynarodowych (ISO 19113, ISO 19114). Dbłość o jakość, pomijając aspekt moralny, ma również oczywisty aspekt praktyczny. Zabezpiecza wykonawcę przed karami umownymi, opóźnieniami w zapłacie oraz kompromitacją na rynku. Z kolei zleceniodawca, dzięki kontroli jakości, otrzymuje produkt, który spełnia jego oczekiwania i jest zgodny z obowiązującymi standardami. Dodatkowo, ustalenie odpowiednich reguł jakościowych regulująco wpływa na rynek, gdyż niejako w sposób naturalny następuje wyważenie pomiędzy ceną i jakością. A to jest warunkiem stabilizacji cen usług, a zatem działania rynku tych usług.

Można wysnuć wniosek, że kontrola jakości powinna być wykonywana jako kontrola wewnętrzna (przez wykonawcę) oraz zewnętrzna (przez zamawiającego lub jako dodatkowe zlecenie).

2.2. Podstawowe metody kontroli jakości: analizy oraz testy

Analizy polegają na sprawdzeniu manualnym dokumentacji projektowej oraz danych. Dotyczy to zarówno porównania dokumentów (certyfikatów, pozwoleń, protokołów kalibracji itp.) z wymaganiami formalnymi, zapisanymi w specyfikacji, oraz konkretnych wartości wynikowych, które również są wymagane przez specyfikację (średni błąd wyznaczenia punktu, średni błąd pomiaru na zdjęciu itp.). Ekonomiczny aspekt prowadzenia kontroli w naturalny sposób doprowadził do stworzenia automatycznych metod kontroli konkretnych parametrów.

Testy są właśnie metodą kontroli wspomaganej algorytmami. Algorytmy te mogą realizować sprawdzanie wszystkich danych lub tylko przypadkowej próby. Wynikiem ich działania jest raport, a zaletą to, że są praktycznie bezobsługowe.

Natura materiału kontrolowanego oraz dostępność do algorytmów testujących decyduje o tym, że w jednych przypadkach stosuje się analizy, w innych zaś – testy.

2.3. Poziomy kontroli jakości

Tradycyjne podejście do kontroli jakości, które należy nazwać po prostu sprawdzeniem danych, opierało się na pracochłonnej procedurze przeglądania danych surowych, półproduktów (po każdym etapie) oraz produktów ostatecznych. Przy takim podejściu sprawdzano 100% materiału i raportowano ewentualne błędy, bez powtarzania procesów przetwarzania we wskazanych miejscach budzących wątpliwości. Niewątpliwą zaletą takiego podejścia jest pewność jakości produktu oraz możliwość optymalizacji procesu technologicznego, jednak wadą – znaczna pracochłonność. Sprawdzanie całego materiału podnosi koszty realizacji projektu o około 10% (Gomez, Molina, 2007). I właśnie ta wada mogła często prowadzić do niedostatecznej rzetelności przy kontroli jakości.

Dlatego zdecydowano o wprowadzeniu metod kontroli jakości, które nie obejmują całego pakietu danych produkowanych przez każdy z etapów technologicznych, ale pewną statystyczną próbę, np. 10%, a wyniki ekstrapoluje się na całość. Wadą tego podejścia jest brak stuprocentowej pewności, że wszystkie dane spełniają wymagania specyfikacji. Dodatkowo, istnieje pewna grupa danych, która nie może być sprawdzona w części, na przykład dokumentacja projektu. Jednak zaletą jest obniżenie kosztów kontroli do około 2% kosztów realizacji całego projektu. Rozwinięciem tej metody jest statystyczna kontrola jakości. Na próbie 10% wykonuje się testy i analizy, a poziomem akceptacji danych jest 95% danych spełniających dane kryterium. Wynik kontroli jest negatywny, gdy mniej niż 95% spełnia określone w specyfikacji projektu kryterium. Oczywiście to podejście również nie zabezpiecza przed błędem w stu procentach, ale pozwala zaklasyfikować oddane produkty jako dobre lub do poprawy i jest uważana za wydajną i stosunkowo tanią. Wersją tego podejścia jest sterowana kontrola jakości, która różni się od metody statystycznej tym, że obszary wybierane są ręcznie przez kontrolera. Mogą to być obszary, gdzie warunki terenowe lub techniczne mogą sugerować zaistnienie większego prawdopodobieństwa napotkania błędów. Tak realizowana kontrola zbliża się do 100% skuteczności. Pod względem kosztów jest przy tym analogiczna do metody statystycznej.

2.4. Podejścia do organizacji kontroli jakości w odniesieniu do pozyskania danych

Istnieją dwie podstawowe możliwości przeprowadzenia kontroli jakości nalotu fotogrametrycznego lub skaningowego.

Pierwsza polega na sprawdzeniu, czy pozyskane dane spełniają wszystkie wymagania określone przez specyfikację, instrukcje czy zasady technologiczne. Niezależnie od jakości planu nalotu oraz wierności jego realizacji, kontrola prowadzi do stwierdzenia, czy dane są zgodne ze specyfikacją, czy można je zaakceptować i użyć ich w dalszych etapach technologii, czy wręcz przeciwnie – należy powtórzyć nalot w części zakresu projektu, rzadziej – w pełnym obszarze. Taka metoda kontroli jest to metoda typowa, choć w szczególnych przypadkach może okazać się ryzykowna.

Druga metoda polega na przeprowadzeniu kontroli dwuetapowej. Mimo pozornie większej pracochłonności, może – *per saldo* – przynieść korzyść. Mianowicie, w pierwszym kroku wykonuje się kontrolę jakości projektu nalotu. Należy zrobić to jeszcze przed pozyskiwaniem danych, żeby w jego trakcie nie popełnić błędów niezgodności parametrów danych ze specyfikacją. Następnie, po nalocie, wykonuje się kontrolę wierności wykonania nalotu z projektem.

Oba sposoby mogą być stosowane jako kontrola wewnętrzna lub zewnętrzna. Trudno określić jednoznacznie, który sposób jest wydajniejszy.

3. OPRACOWANIE SYSTEMU KONTROLI JAKOŚCI DLA NALOTÓW PNOA

3.1. Parametry techniczne projektu PNOA

Projekt PNOA zlecał przez hiszpański Państwowy Instytut Geograficzny (Instituto Geográfico Nacional, IGN) i realizowany cyklicznie na terenie całego kraju (Molina, 2007). Początkowo, w 2004 roku, parametry techniczne były bardzo wymagające i trudne w praktyce do utrzymania. W rezultacie, w późniejszym okresie postanowiono dokonać zmian ustaleń technicznych: aktualizacja co 4 lata (zamiast 2); 50% terytorium co 2 lata objęte zostało tzw. "szybkim orto" (hiszp. *orto rápida*).

Tzw. "szybkie orto" to przyspieszona metoda realizacji ortofotoplanów, która polega na ortorektyfikacji aktualnych, nowych obrazów z wykorzystaniem elementów orientacji zewnętrznej nie podlegających wyrównaniu (bezpośrednio pochodzących z GPS i IMU) oraz archiwalnego numerycznego modelu terenu z zasobu geodezyjnego (Gomez, Molina, 2007, Molina *et al.*, 2010).

Wymagania w stosunku do ortofotoplanów realizowanych metoda typową zostały sformułowane w sposób następujący: aktualizacja zdjęć i numerycznego modelu terenu co 4 lata, wielkość piksela terenowego $0.22 \text{ m} \pm 10\%$, terenowy rozmiar piksela ortofotogramu 0.25 m , rozmiar siatki NMT $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$, błąd średni $Z \leq 1 \text{ m}$, b. maksymalny $\leq 2 \text{ m}$ w 95% przypadków, błąd nieprzekraczalny 3 m .

Dodatkowo, od 2009 pozyskanie numerycznego modelu terenu odbywa się z wykorzystaniem technologii lotniczego skaningu laserowego. Ogólne zasady nalotu

LiDAR zostały ustalone na następujące: 0.5 punktu/m², średni błąd kwadratowy wysokości punktu 0.40 m, różnice wysokościowe pomiędzy szeregami poniżej 0.80 m.

3.2. Szczegóły techniczne nalotu fotogrametrycznego

Specyfikacja zawiera 6 rozdziałów dotyczących nalotu fotogrametrycznego oraz 5 – nalotu skaningowego (<http://www.ign.es/PNOA/documentacion.html>). Szczegółowo zostaną natomiast omówione te wymagania, które zmuszają do specjalistycznego podejścia w procesie kontroli jakości danych, m.in.:

- termin nalotu/kąt padania promieni słonecznych – powinien się odbyć pomiędzy 1.05, a 30.09, a kąt padania nie mniejszy niż 40°,
- dryft mniejszy niż 3°,
- pokrycie podłużne 57-63%,
- pokrycie poprzeczne $\geq 25\%$, w obszarach górzystych miejscowo nie może być poniżej 20%, na północnej i południowej granicy obszaru opracowania margines 15%,
- skala/GSD – 0.22 m $\pm 10\%$,
- rozdzielczość radiometryczna pozyskanych obrazów – 8 bitów/kanał,
- rozdzielczość spektralna: 1 kanał panchromatyczny, 4 kanały kolorowe (IR, R, G, B),
- jasność średnia, minimalna, maksymalna oraz odchylenie standardowe – w każdym kanale histogram nie powinien być ucięty, ani zbyt asymetryczny, nie powinno być pustych poziomów spektralnych,
- utrata poziomów spektralnych związana z obcięciem histogramu nie może przekraczać 20.

3.3. Szczegóły techniczne nalotu skaningowego

W przypadku nalotu skaningowego, najważniejszymi parametrami są:

- średnia rozdzielczość terenowa – 0.5 punktu/m²,
- minimalna, nieprzekraczalna rozdzielczość terenowa - 0.4 punktu/m²,
- pokrycie poprzeczne ($\geq 15\%$ w terenie nizinym, a w górzystym oraz zabudowanym – pokrycie poprzeczne ma doprowadzić do zminimalizowania miejsc zaciemnionych do 5%),
- średni błąd kwadratowy wysokości punktu 0.40 m,
- odchyłki wysokościowe pomiędzy szeregami poniżej 0.80 m.

Wobec dużej ilości danych najlepszym rozwiązaniem jest opracowanie uniwersalnego systemu kontroli jakości danych we wszystkich etapach opracowania (Ackermann, Eslami, 1996).

3.4. Grupy prowadzonych kontroli dla nalotów fotogrametryczno-skaningowych

Jedną z ważnych czynności przygotowawczych do realizacji nowego projektu, oprócz ustalenia przebiegu procesu technologicznego (sprzęt, oprogramowanie, personel), jest opracowanie systemu kontroli jakości wewnętrznej. Przy okazji wnikliwej analizy specyfikacji projektu następuje ustalanie reguł postępowania, etapów i rozdziału

obowiązków. Jednym z efektów tych prac powinien być schemat postępowania zabezpieczający wykonawcę przed popełnianiem i przeoczeniem błędów.

Można wymienić 3 podstawowe grupy kontroli:

- kontrola dokumentacji i spełnienia ogólnych warunków technicznych,
- kontrola geometryczna,
- kontrola radiometryczna.

Kontrola dokumentacji oraz spełnienia ogólnych warunków technicznych polega na analizie wszystkich wymaganych w specyfikacji pozwoleń, certyfikatów i raportów kalibracji sprzętu, a także danych technicznych przyrządów oraz warunków dodatkowych, jak stosowany układ odniesienia, model geoidy czy podział sekcyjny. W publikacji tej nie zostały zamieszczone bardziej szczegółowe informacje dotyczące tej kontroli. Ta grupa kontroli nie nastręcza żadnych trudności, ponieważ nie wymaga szerszej wiedzy, doświadczenia ani zaawansowanych algorytmów kontrolujących. Dlatego też nie będzie tutaj szerzej komentowana.

Kontrola geometryczna polega na sprawdzeniu, czy pozyskane dane pokrywają cały obszar projektu oraz czy spełniają dodatkowe wymogi techniczne. Dla fotogramów te wymogi to przede wszystkim zachowanie odpowiedniego pokrycia podłużnego oraz poprzecznego, minimalizacja kąta dryftu, zachowanie w ustalonych granicach jednorodnej, zgodnej ze specyfikacją skali zobrazowań (lub terenowego rozmiaru piksela tzw. GSD – *ground sample distance*), wykonanie zdjęć o odpowiedniej porze roku i dnia (kątem padania promieni słonecznych), co bezpośrednio wpływa również na radiometrię zobrazowań. Kontrola geometryczna w odniesieniu do danych skaningowych obejmuje przede wszystkim sprawdzenie takich parametrów, jak gęstość chmury punktów oraz wzajemnego pokrycia się sąsiednich szeregów gwarantującego pełne, ciągłe dane w obszarze projektu (Quiles, Molina, 2010).

Kontrola radiometryczna natomiast dotyczy jedynie części obrazowej nalotu i obejmuje szereg testów oraz analiz, z których najważniejszymi są:

- rozdzielczość radiometryczna – ilość bitów na kanał,
- rozdzielczość spektralna – ilość i rodzaje kanałów (IR R G B),
- analiza histogramu – wartości: minimalna, maksymalna, średnia oraz odchylenie standardowe histogramów w każdym z kanałów oraz histogramu zbiorczego,
- wartość nasycenia,
- strata poziomów jasności.

Przeprowadzenie testów automatycznych pozwala skontrolować 100% danych, jednak nie wyeliminuje zagrożenia pojawienia się błędów na obrazach. Dlatego kontrola radiometryczna powinna być wspierana przez doświadczonego obserwatora, będącego w stanie zauważyć błędy, które nie ujawniają się w wyglądzie histogramu, np. plamy, odbłaski, zadymienie, mgły, chmury, cienie od chmur itp.

3.5. Opracowanie systemu kontroli wewnętrznej SSAC

Opracowanie systemu kontroli wewnętrznej zwanego Sistema Simplificado de Aseguramiento de Calidad (hiszp. uproszczony system zapewnienia jakości) miało na celu uporządkowanie procesu prowadzenia kontroli jakości zgodnie z zaleceniami IGN

(Instituto Geográfico Nacional – Państwowego Instytutu Geograficznego). W części dotyczącej jakości nalotu fotogrametrycznego oraz skaningowego system kontroli został podzielony na trzy podstawowe działy według wspomnianego wyżej schematu. Tabela główna porządkowała poziomo wszystkie parametry, które powinny być skontrolowane, natomiast w kolumnach definiowano dane i parametry kontroli dla każdego parametru:

- nazwa grupy parametrów do skontrolowania,
- nazwa podgrupy parametrów do skontrolowania,
- nazwa parametru,
- metoda kontroli (test lub analiza),
- opis metody kontroli (najczęściej: sprawdzenie dokumentacji, obliczenie parametrów, inspekcja wizualna),
- dane i dokumenty konieczne do przeprowadzenia kontroli,
- osoba odpowiedzialna za akceptację,
- oprogramowanie służące do kontroli,
- zakres kontroli (procent danych podlegających kontroli),
- częstotliwość kontroli (zazwyczaj po zakończeniu etapu),
- tolerancja (poziom akceptacji),
- metoda poprawy,
- rodzaj raportu kontroli,
- uwagi,
- data kontroli,
- rezultat kontroli (pozytywny/negatywny).

3.6. Metody kontroli geometrycznej danych fotogrametrycznych

W ramach kontroli geometrycznej przewidziano następujące kroki (tabela 1):

a) kontrola dat, godzin i wysokości Słońca

Ten etap kontroli wykonywany jest na podstawie informacji z bazy danych nalotu (daty, godziny, współrzędne geograficzne). Stosując odpowiedni program (w tym przypadku – Control de Calidad de Vuelo.exe) obliczono godziny, w których dopuszczalne było wykonywanie nalotu ze względu na kąt padania promieni słonecznych. Porównanie wyników z bazą danych nalotu doprowadziło do powstania raportu wys_slonca.mxd, w którym wykazano te zdjęcia, które zostały wykonane z kątem padania promieni słonecznych poniżej zakładanych 35 stopni nad horyzontem.

b) kontrola dryftu

Analogicznie, na podstawie bazy danych nalotu, można policzyć kąty dryftu. Różnice pomiędzy kątem kappa, a kierunkiem nalotu powinny być, zgodnie ze specyfikacją, poniżej 5 stopni.

c) kontrola pokryć

Najpierw na podstawie bazy danych nalotu (elementy orientacji wewnętrznej i zewnętrznej zdjęć) generuje się ślady zdjęć (tzw. footprinty) na numerycznym modelu terenu. Im dokładniej zostaną wyrysowane, tym uzyskane wyniki kontroli będą bardziej wiarygodne. Na ogół każde zdjęcie rzutuje się w postaci wielokąta kształtem przypominającego prostokąt, ale o takiej ilości wierzchołków pośrednich rozmieszczonych na każdym z jego boków, aby pokazać rzeczywisty zasięg zdjęcia na terenie.

Tabela 1. Tabela kontroli geometrycznej danych fotogrametrycznych

Parametr kontrolowany	Metoda kontroli	Opis metody kontroli	Dane i dokumenty konieczne do kontroli	Oprogramowanie kontroli	Zakres	Częstotliwość	Tolerancja	Metoda poprawy	Raport kontroli
Daty Godziny Wys. Słońca	Test	Obl. parametr.	Baza danych nalotu	Control de Calidad de Vuelo.exe Excel, ArcGis	100%	1 raz po zakończeniu etapu	35 stopni	Powtórzenie prac	wys_slonca.mxd
Kąt dryftu	Test	Obl. parametr.	Baza danych nalotu	Control de Calidad de Vuelo.exe Excel, ArcGis	100%	1 raz po zakończeniu etapu	5 stopni	Powtórzenie prac	dryfty.mxd
Pokrycia podłużne i poprzeczne	Test	Rzutowanie zdjęć na przybliżony NMT	Baza danych nalotu, NMT	Projector Excel, ArcGis	100%	1 raz po zakończeniu etapu	Podł. (55%-70%) Poprz. 20%, nie mniej niż 10%	Powtórzenie prac	pokrycie_poprzeczne.mxd pokrycie_podluzneT.mxd trans_solapeL.mxd
Skale / GSD	Test	Obl. parametr.	Baza danych nalotu, NMT	Projector Excel, ArcGis	100%	1 raz po zakończeniu etapu	GSD max = 40 cm	Powtórzenie prac	GSD.mxd
Pokrycie obszaru projektu	Analiza	Kontrola wizualna	Baza danych nalotu, zakres projektu	MicroStation	100%	1 raz po zakończeniu etapu	100%	Powtórzenie prac	poprzeczne.dgn podluzne.dgn pokrycie.dgn
Zjawiska meteorologiczne	Test	Kontrola wizualna	Fotogramy	P-CID, ArcGis	100%	1 raz po zakończeniu etapu	Nie powinny występować zjawiska utrudniające widzialność powierzchni terenu	Powtórzenie prac	radiometria.mdb

Drugim wynikiem jest plik zawierający statystykę pokryć podłużnych pomiędzy zdjęciami, pokryć poprzecznych pomiędzy zdjęciami (chodzi o sprawdzenie, czy kolejne zdjęcia w szeregu nie są poprzecznie przesunięte) oraz pokryć poprzecznych pomiędzy szeregami. Oprogramowaniem zastosowanym do tego zadania był Projector5.exe, na wyjściu produkujący plik DGN z zasięgami oraz etykietami oraz plik tekstowy z wynikami analizy pokryć, który wczytany do Excela pozwalał szybko wczytać dane do systemu ArcGIS i zorientować się przy pomocy podstawowych zapytań do bazy danych, czy istnieją modele o pokryciu wykraczającym poza określone w specyfikacji granice.

d) kontrola piksela terenowego

Kontrola utrzymania odpowiedniego rozmiaru piksela terenowego również oparta była na oprogramowaniu Projector5, Excel oraz ArcGIS. Wynik w postaci pliku tekstowego z zapisanymi wartościami średnimi GSD dla każdego zdjęcia był kojarzony z danymi wektorowymi w ArcGIS i odpowiednie zapytanie do bazy wykazywało w postaci raportu z załącznikiem graficznym ewentualne przekroczenia zakładanych wartości.

e) kontrola zasięgu

Wygenerowane footprinty wyświetlone w ArcGIS na tle zasięgu pozwalały pokazać ewentualne braki pokrycia zdjęciami obszaru projektu. Wykonywano sumowanie logiczne zasięgów zdjęć celem wygenerowania zasięgu pokrytego obszarami podwójnego pokrycia,

a następnie ten obszar odjęto od zasięgu projektu. Uzyskana różnica pokazywała ewentualny brak pokrycia i musiała skutkować wykonaniem dodatkowego nalotu poprawkowego.

Powyższe kontrole geometryczne mogą również być realizowane przez oprogramowanie Topoflight (Budmiger *et al.*, 2005), które dedykowane jest procesowi projektowania nalotu, ale posiada szereg dodatkowych funkcji służących kontroli jakości nalotu.

3.7. Metody kontroli geometrycznej danych skaningowych

Występujące braki w danych związane na ogół są z zakłóceniami przebiegu wiązki laserowej przez ośrodek zanieczyszczony pyłami, dymem lub przez chmury należy wskazać na drodze kontroli wizualnej. Najwydajniejszym narzędziem do tego typu kontroli jest oprogramowanie Terrasolid (www.terrasolid.fi).

Dodatkowo, należy na zasadzie wizualnej sprawdzić, czy cały zakres projektu jest pokryty punktami i czy nie pojawiają się przerwy pomiędzy szeregami. Przerwy pomiędzy szeregami można również skontrolować, wykorzystując punkty skanu oznaczone w pliku LAS jako krańcowe. Linie zakresu szeregu nie powinny się stykać.

Kontrola gęstości chmury punktów jest typowym zadaniem testowym. Funkcja statystyczna programu Terrasolid pozwala na określenie średniej gęstości w blokach chmur punktów.

Tabela 2 przedstawia szczegóły kontroli geometrycznej danych skaningowych

Tabela 2. Tabela kontroli geometrycznej danych skaningowych

Parametr kontrolowany	Metoda kontroli	Opis metody kontroli	Dane i dokumenty konieczne do kontroli	Oprogramowanie kontroli	Zakres	Częstotliwość	Tolerancja	Metoda poprawy	Raport kontroli
Warunki meteorologiczne: chmury	Analiza	Kontrola wizualna	Pliki LAS	Terrascan	100%	1 raz po zakończeniu etapu	Nie powinny występować zjawiska utrudniające widzialność powierzchni terenu	Powtórzenie prac	warunki_LiDAR.doc
Braki danych	Analiza	Kontrola wizualna	Pliki LAS	Terrascan	100%	1 raz po zakończeniu etapu	4m lub 12m	Powtórzenie prac	braki_LiDAR.doc
Gęstość	Test	Obl. parametru	Pliki LAS	Terrascan	100%	1 raz po zakończeniu etapu	0.5punktu/m ²	Powtórzenie prac	raport_gęstości.dgn

3.8. Metody kontroli radiometrycznej

Kontrola radiometrii obrazów oparta jest na odpowiednim narzędziu testującym. W przypadku projektu PNOA zastosowano oprogramowanie o nazwie P-CID, dedykowane temu zagadnieniu. Automatyczny test wskazanych obrazów prowadzi do wygenerowania kart kontroli dla każdego zdjęcia z wyszczególnieniem wszystkich kontrolowanych parametrów. Dodatkowo interfejs programu pozwala przeprowadzić inspekcję w zakresie ewentualnego występowania chmur, dymu, pyłu, mgły oraz plam, będących wynikiem

zabrudzeń na szybie zewnętrznej luku samolotu lub obiektywu kamery. Ostateczne wyniki kontroli są przechowywane w postaci katalogu raportów oraz bazy danych w formacie MDB, w której z łatwością można odszukać obrazy nie spełniające stawianych im wymagań. Zestaw testów służących kontroli radiometrycznej pokazano w tabeli 3.

Tabela 3. Tabela kontroli radiometrycznej danych fotogrametrycznych

Parametr kontrolowany	Metoda kontroli	Opis metody kontroli	Dane, dokumenty konieczne do kontroli	Oprogramowanie kontroli	Zakres	Częstotliwość	Tolerancja	Metoda poprawy	Raport kontroli
Zjawiska meteorologiczne	Test	Kontrola wizualna	Fotogramy	P-CID, ArcGis	100%	1 raz po zakończeniu etapu	Nie powinny występować zjawiska utrudniające widzialność powierzchni terenu	Odszukanie i poprawa, ew. powtórzenie prac	radiometria .mdb
Rozdzielczość radiometryczna	Test	Obliczenie parametrów	Fotogramy	P-CID	100%	1 raz po zakończeniu etapu	8-bit / kanał	Wykrycie i poprawa źródła błędu, powtórzenie nalotu	radiometria .mdb
Rozdzielczość spektralna	Test	Obliczenie parametrów	Fotogramy	P-CID	100%	1 raz po zakończeniu etapu	Kolor RGB, bliska podczerwień i kanał panchromatyczny	Wykrycie i poprawa źródła błędu, powtórzenie nalotu	radiometria .mdb
Wartości średnia, min., maks. oraz odchylenie standard. histogramu	Test	Obliczenie parametrów	Fotogramy	P-CID	100%	1 raz po zakończeniu etapu	Obrazy powinny posiadać pełny zakres w każdym z kanałów. W przypadku obrazów 8-mio bitowych nie dopuszczalny jest brak poziomów spektralnych.	Wykrycie i poprawa źródła błędu, powtórzenie nalotu	radiometria .mdb
Wartości nasycenia	Test	Obliczenie parametrów	Fotogramy	P-CID	100%	1 raz po zakończeniu etapu	Nie dopuszcza się obrazów, które mają saturacje przekraczającą 0.5% w przynajmniej jednym z kanałów na krańcach histogramu	Wykrycie i poprawa źródła błędu, powtórzenie nalotu	radiometria .mdb
Utrata poziomów jasności	Test	Obliczenie parametrów	Fotogramy	P-CID	100%	1 raz po zakończeniu etapu	≤ 20	Wykrycie i poprawa źródła błędu, powtórzenie nalotu	radiometria .mdb

3.9. Formowanie raportów

Formowanie raportów z kontroli jest integralną częścią działania Uproszczonego Systemu Zapewnienia Jakości. Dokumenty w formacie PDF określają, w jakim stopniu kontrolowane dane spełniają wymagania specyfikacji i wykazują szczegółowo, co i jak należy poprawić. Jeśli wyniki kontroli umieszcza się w raportach, to oprócz funkcji formalnej sprawnie porządkują informacje powstałą podczas kontroli. Każdy z parametrów posiada swój raport, dodatkowo całe etapy prac są podsumowywane raportami zbiorczymi.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Opisany powyżej system kontroli jakości został przygotowany do wykorzystania wewnętrznego w firmie Stereocarto S.L. oraz Hifsa S.L. Jego organizacja pozwoliła na uporządkowanie procesu kontroli jakości oraz na stworzenie wewnętrznych procedur kontroli jakości. Należy zaznaczyć, że ten aspekt organizacyjny jest istotny, ponieważ w oczywisty sposób proces kontroli jakości był stosowany, ale bez założonego planu.

Stosowanie systemu jakości posiada szereg zalet, wpływając na wewnętrzne działanie firmy oraz, w szerszym zakresie, na rynek usług fotolotniczych. Zalety te można podzielić ze względu na ich wpływ na funkcjonowanie firmy oraz szerszy kontekst.

W pierwszej grupie warto wymienić następujące zalety:

- system jakości wymusza jednorodne postępowanie przy opracowaniu i kontroli danych; stosowana schematyzacja przyspiesza stosowanie przyjętych procedur kontrolnych,
- ułatwia współpracę z podwykonawcami, ponieważ jasno definiuje kryteria jakości oraz metody jej kontroli,
- pomaga osiągnąć i utrzymać odpowiednią równowagę pomiędzy ceną i jakością,
- pomaga zwrócić uwagę na ewentualny problem technologiczny pojawiający się na konkretnym etapie prac, co w konsekwencji może pozwolić zdefiniować przyczynę błędów i ją usunąć,
- zastosowanie metod testów automatycznych obniża pracochłonność i podnosi obiektywizm kontroli.

Dodatkowo taka procedura stosowana wewnątrz firmy oddziałuje na całe otoczenie, na rynek usług w danym zakresie:

- podnosi jakość, a zatem poziom zaufania klientów do produktów danej dziedziny,
- stwarza możliwość aktualizacji specyfikacji w odniesieniu do ciągłego postępu technologicznego i sugestii firm,
- reguluje rynek, ponieważ eliminuje zjawisko wygrywania przetargów kosztem jakości.

5. PODZIĘKOWANIA

Na zakończenie krótkiego opisu doświadczeń zawodowych, zebranych w rocznym okresie pracy w Stereocarto S.L. oraz Hifsa S.L., autor pragnie podziękować za okazaną pomoc oraz udostępnienie danych Panu Antonio Godino Cobo – Dyrektorowi ds. Produkcji w firmach Stereocarto S.L. i Hifsa S.L. oraz Panu Sergio Molina Blázquezowi – Dyrektorowi w dziale fotogrametrii firmy Tragsatec S.A. za cenne uwagi oraz przekazanie materiałów konferencyjnych dotyczących opisywanego tematu.

6. LITERATURA

Ackermann R. J., Eslami Rad A., 1996, Quality Control Procedure for Photogrammetric Digital Mapping (Procedura kontroli jakości dla opracowania map metodami fotogrametrii cyfrowej), International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing , Vol. XXXI, Part B4. Vienna 1996.

Budmiger, K; Delgado García, J; Pérez García, J. L; Cardenal Escarcena, F. J., 2005, Planificación y control de calidad de vuelos fotogramétricos. El sistema Topoflight (Planowanie oraz kontrola jakości nalołów fotogrametrycznych. System Topoflight). http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/XII_2/046%20-%20Budminger%20et%20al.pdf
Materiały projektu badawczego realizowanego przez Uniwersytet w Jaén oraz Stereocarto S.L., Jaén 2005.

Gómez Tolón B., Molina Blázquez S., 2007, Controles de calidad en el marco del plan nacional de ortofotografía aérea (Kontrola jakości Narodowego Planu Ortofotografii Lotniczej). Prezentacja firmy Tragsatec S.A. w archiwum autora.

Molina Blázquez S., 2007, La fotogrametría digital en España: del SIG Oleícola al PNOA. 10 años de historia (1997–2007) (Cyfrowa fotogrametria w Hiszpanii: od SIG Oleícola do PNOA). Materiały wykładu z cyklu konferencji geodezji i kartografii na Uniwersytecie w Jaén (Hiszpania).

Molina Blázquez S., Redondo Fernández J., Zamorano Páez M.D., Hermosilla Carrasquilla A., Caturla Montero C., 2010, Producción de ortofotos expeditas de andalucía en el marco PNOA (Produkcja ortofoto metodą uproszczoną obszaru Andaluzji w ramach PNOA). http://age.ieg.csic.es/metodos/2010_sevilla/ponencia1/molina.pdf, Sewilia 2010.

Quiles, I. Molina, S., 2010, Control de calidad planimétrico de una nube de puntos LiDAR (Kontrola jakości chmury punktów w płaszczyźnie poziomej). http://www.ideg.es/wsc_content/pics/user_upload/Control%20de%20calidad%20planimetri%20de%20una%20nube%20de%20puntos%20LiDAR.pdf

Norma PN-EN ISO 19113 Informacja geograficzna. Podstawy opisu jakości.

Norma PN-EN ISO 19114 Informacja geograficzna. Procedury oceny jakości.

Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 3 listopada 2011 r. w sprawie baz danych dotyczących obrazowań lotniczych i satelitarnych oraz ortofotomapy i numerycznego modelu terenu (Dz. U. Nr 263, poz. 1571). http://www.gugik.gov.pl/_data/assets/pdf_file/0018/35523/fotka.pdf

Hifsa S.L.. 2006: <http://comhifsa.com>

Instituto Geográfico Nacional. 2010: <http://www.ign.es/PNOA/documentacion.html>

Stereocarto S.L.. 2011: <http://www.stereocarto.com>

Terrasolid. 2012: www.terrasolid.fi

Tragsatec S.A. 2011: <http://www.tragsa.es/en/sus-empresas/Paginas/tragsatec.aspx>

QUALITY CONTROL SYSTEM PREPARATION FOR PHOTOGRAMMETRIC AND LASER SCANNING MISSIONS OF SPANISH NATIONAL PLAN OF AERIAL ORTHOPHOTOGRAPHY (PNOA)

KEY WORDS: quality control, photogrammetric flight, aerial orthophoto, LiDAR

Summary

The paper presents the state of the art of quality control of photogrammetric and laser scanning data captured by airborne sensors. The described subject is very important for photogrammetric and LiDAR project execution, because the data quality *a priori* decides about the final product quality. On the other hand, precise and effective quality control process allows to execute the missions without wide margin of safety, especially in case of the mountain areas projects.

For introduction, the author presents theoretical background of the quality control, basing on his own experience, instructions and technical documentation. He describes several variants of organization solutions. Basically, there are two main approaches: quality control of the captured data and the control of discrepancies of the flight plan and its results of its execution. Both of them are able to use test of control and analysis of the data. The test is an automatic algorithm controlling the data and generating the control report. Analysis is a less complicated process, that is based on documentation, data and metadata manual check.

The example of quality control system for large area project was presented. The project is being realized periodically for the territory of all Spain and named National Plan of Aerial Orthophotography (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, PNOA). The system of the internal control guarantees its results soon after the flight and informs the flight team of the company. It allows to correct all the errors shortly after the flight and it might stop transferring the data to another team or company, for further data processing.

The described system of data quality control contains geometrical and radiometrical control of photogrammetric data and geometrical control of LiDAR data. According to all specified parameters, it checks all of them and generates the reports. They are very helpful in case of some errors or low quality data.

The paper includes the author experience in the field of data quality control, presents the conclusions and suggestions of the organization and technical aspects, with a short definition of the necessary control software.

Dane autora:

Dr inż. Antoni Rzonca
e-mail: arz@agh.edu.pl
telefon: +48 505 103 540