

Warszawa, 19.05.2023 r.

dr hab. inż. Ireneusz Ewiak, prof. uczelni
Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji
Katedra Rozpoznania Obrazowego
Wojskowa Akademia Techniczna
im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Wojciecha Ostrowskiego
na temat:

„Analiza możliwości pomiarowych lotniczych zdjęć ukośnych”

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport z dnia 13 marca 2023 roku zawierające informację o uchwale Rady Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej podjętej na posiedzeniu w dniu 7 marca 2023 roku w sprawie powołania mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Wojciecha Ostrowskiego nt.: „Analiza możliwości pomiarowych lotniczych zdjęć ukośnych”.

2. Charakterystyka ogólna rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Wojciecha Ostrowskiego nt. „Analiza możliwości pomiarowych lotniczych zdjęć ukośnych”. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Zdzisław Kurczyński. Recenzowana praca doktorska stanowi zwartą publikację spisana na 216 stronach maszynopisu i składa się ze wstępu, 6 rozdziałów obejmujących tekst podstawowy, wykazu literatury liczącego 166 pozycji, z których większość należy uznać za istotne dla przedmiotu rozprawy, w tym 2 pozycje autorstwa opublikowane w międzynarodowych materiałach konferencyjnych i jedną współautorstwa opublikowaną w czasopiśmie krajowym, przy czym żadna z tych trzech pozycji nie znajduje się w wykazie punktowanych czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych Ministra Edukacji i Nauki z dnia 1 grudnia 2021 roku, materiału ilustracyjnego w postaci 78 rysunków oraz 57 tabel, a także załącznika informującego o kolejnych wersjach skryptów opracowanych przez Doktoranta dla zdjęć ukośnych.

Rozprawa składa się części teoretycznej oraz badawczej poprzedzonych krótkim wstępem. We wstępie rozprawy doktorskiej Doktorant podkreślił znaczenie lotniczych zdjęć ukośnych w opracowaniach fotogrametrycznych 3D. Sformułował cel rozprawy oraz tezę, iż „Prawidłowa

georeferencja bloku zdjęć ukośnych pozwala na określenie przestrzennego położenia punktów terenowych z dokładnością podpikselową.

W części teoretycznej składającej się z dwóch rozdziałów Doktorant przedstawił aktualny stan wiedzy dotyczący lotniczych zdjęć ukośnych oraz metod ich fotogrametrycznego opracowania. W rozdziale pierwszym „Lotnicze zdjęcia ukośne” przybliżył historię wykonywania zdjęć ukośnych, scharakteryzował współczesne kamery służące do ich pozyskiwania, a także metodykę projektowania bloków uwzględniającą kluczowe czynniki mające wpływ zarówno na ich jakość jak i dokładność opracowania fotogrametrycznego. W końcowej części tego rozdziału Doktorant dokonał przeglądu zastosowań zdjęć ukośnych w obszarach związanych z detekcją zmian pokrycia terenu, detekcją budynków oraz ich modelowaniem i tekstuowaniem, klasyfikacją i segmentacją semantyczną. Zwrócił również uwagę na rolę zdjęć ukośnych w zarządzaniu kryzysowym oraz badaniach środowiskowych.

W rozdziale drugim „Fotogrametryczne opracowanie zobrażeń ukośnych” Doktorant wskazał dwa obszary problemowe, z których pierwszy dotyczył ich orientacji zewnętrznej, drugi zaś ich automatycznego dopasowania w procesie pomiaru punktów wiążących oraz gęstych chmur punktów. W odniesieniu do pierwszego obszaru problemowego Doktorant dokonał wnikliwego przeglądu metod orientacji lotniczych zdjęć ukośnych wskazując że w większości przypadków wykorzystują one algorytmy „Structure from Motion”. Zwrócił również uwagę na problemy związane z wykorzystaniem tych metod mając na uwadze ich wydajność dla dużych bloków zdjęć oraz jakość realizowanych obserwacji. Przedstawił również kluczowe aspekty orientacji lotniczych zdjęć ukośnych dla których aktualny stan wiedzy jest niewystarczający. Pierwszy z nich dotyczył wpływu redukcji liczby punktów wiążących na efektywność procesu aerotriangulacji bloku zdjęć ukośnych oraz złożoność obliczeń na etapie wyrównania obserwacji. Kolejne związane były z opracowaniem modelu matematycznego kamery wieloobiektywowej, metodami jej kalibracji i samokalibracji oraz metodami wagowania obserwacji tego samego punktu pomierzonego na różnych zdjęciach ukośnych.

W odniesieniu do drugiego obszaru problemowego Dyplomant słusznie zauważył, że dotychczasowe rozwiązania algorytmiczne w zakresie dopasowania obrazów przypadające na początek rozwoju technologii zdjęć ukośnych nie pozwalały osiągnąć dla tych zdjęć akceptowalnych wyników wyszukiwania punktów wiążących z uwagi na różnice w odwzorowaniu tego samego obiektu na zdjęciu ukośnym oraz zdjęciu pionowym. Wskazał rozwiązania algorytmiczne (algorytm ASIFT) które radzą sobie z tym problemem. Algorytm ten uwzględnia aspekt wzajemnego nachylenia między zdjęciami i umożliwia uzyskanie poprawnego dopasowania dla zdjęć skierowanych w przeciwnych kierunkach, przy czym liczba pomierzonych punktów wiążących spada wraz ze wzrostem nachylenia między zdjęciami. Dyplomant zauważył, że wiąże się to z koniecznością symulowania wielu kamer afinicznych, co przekłada się bezpośrednio na wielokrotnie większą złożoność procesu obliczeniowego. Mając to na uwadze przedstawił metody optymalizacyjne w zakresie pomiaru punktów wiążących, które zapewniały nie tylko poprawę wyników ale również przyspieszenie procesu pomiarowego. W dalszej części tego rozdziału Dyplomant przedstawił wyniki pomiaru gęstej chmury punktów z wykorzystaniem różnych metod zwracając uwagę na konieczność dokładnego wyznaczenia elementów orientacji zewnętrznej zdjęć ukośnych w procesie aerotriangulacji. Wobec niższej dokładności chmur punktów uzyskiwanych z gęstego dopasowania zdjęć ukośnych w stosunku do chmur uzyskiwanych z dopasowania zdjęć pionowych Dyplomant wskazał czynniki stanowiące potencjalne wyzwania dla algorytmów do których zaliczył: różne wartości GSD tych

samych obiektów na różnych zdjęciach, dużą liczbę martwych pól, gwałtowne zmiany głębi i GSD, niekorzystny stosunek bazowy, nachylenie obiektów względem płaszczyzny tłowej oraz różnice w oświetleniu dla różnych kierunków.

W części eksperymentalnej składającej się z czterech rozdziałów Doktorant nakreślił plan eksperymentu, scharakteryzował badania w zakresie wpływu liczby i rozmieszczenia punktów wiążących oraz istotności pomiaru dodatkowych parametrów orientacji wewnętrznej na dokładność orientacji zewnętrznej bloku lotniczych zdjęć ukośnych, a także na podstawie uzyskanych rezultatów zaproponował metodykę ich orientacji.

W rozdziale trzecim „Plan badań i projekt eksperymentu” Doktorant zdefiniował dwa kluczowe obszary badawcze, które zdecydował się uwzględnić w części eksperymentalnej rozprawy doktorskiej. Scharakteryzował przebieg prac związanych z redukcją liczby punktów wiążących oraz samokalibracją kamery, a także parametry bloku testowego w ramach którego prace te realizował. Omówił również sposób weryfikacji wyników zaproponowanej metodyki orientacji lotniczych zdjęć ukośnych.

W rozdziale czwartym „Wpływ punktów wiążących na orientację zdjęć ukośnych” Dyplomant przedstawił metodykę i wyniki weryfikacji redukcji liczby punktów wiążących, którą poprzedził analizą ich rozmieszczenia w bloku zdjęć ukośnych. Scharakteryzował podstawowe parametry dwóch bloków testowych z uwzględnieniem formatu kamer pomiarowych, liczby zdjęć oraz liczby i rozmieszczenia fotopunktów i fotopunktów kontrolnych w bloku. W dalszej części tego rozdziału dla bloku testowego pozyskanego kamerami średnioformatowymi zaprezentował wyniki aerotriangulacji uwzględniające statystyki liczby punktów wiążących (3D) oraz liczby punktów charakterystycznych (2D) dla zdjęć z poszczególnych kamer. Dyplomant zestawiał wyniki dopasowań między zdjęciami ukośnymi w różnych kierunkach oraz liczbę dopasowań pomiędzy zdjęciami uzyskanymi z poszczególnych kamer dla ograniczonej liczby punktów charakterystycznych oraz dla różnej zadeklarowanej liczby pożądaných punktów wiążących na zdjęciu. Scharakteryzował zmiany proporcji między dopasowaniami z poszczególnych grup w całym bloku na podstawie zestawień wartości średnich z poszczególnych grup oraz sum dopasowań dla średniej z trzeciego kwantyla oraz sumy trzecich kwantyli. Dyplomant przeprowadził dyskusję dotyczącą liczby wiązanych zdjęć przez poszczególne punkty wiążące z uwzględnieniem ich podziału na grupy ze względu na kierunek wiązanych zdjęć i ich liczbę. W aspekcie redukcji liczby punktów wiążących Dyplomant przedstawił autorską metodę uwzględniającą zrównoważenie liczby typów obserwacji w obrębie bloku zdjęć ukośnych. Omówił proces i wyniki redukcji punktów wiążących oparty na metodzie równoważenia kątów wcinających oraz metodzie zachowania połączeń. W przypadku ostatniej z tych metod odniósł się do trzech wariantów z których pierwszy uwzględniał zachowanie połączeń z maksymalną liczbą obserwacji zaś dwa pozostałe uwzględniały zachowanie połączeń z losowym wybieraniem obserwacji. W kontekście weryfikacji skuteczności metod redukcji punktów wiążących Doktorant przedstawił wyniki aerotriangulacji bloku testowego z uwzględnieniem redukcji liczby punktów wiążących metodą równoważenia kątów. Wyniki te uwzględniały różne wartości odchyłeń standardowych dla wiązań bez uwzględnienia pomiarów GNSS/INS oraz różne wartości odchyłeń standardowych obserwacji GNSS/INS. Podobne analizy przedstawił dla dwóch bloków zdjęć przy redukcji liczby punktów wiążących z zachowaniem połączeń. Na ich podstawie sformułował stosowne wnioski.

W rozdziale piątym „Wpływ samokalibracji na wynik orientacji zdjęć ukośnych” Doktorant zaprezentował wyniki wyrównania bloku średnioformatowych ukośnych zdjęć lotniczych ze

zredukowaną liczbą punktów wiążących w trzech wariantach uwzględniających wykorzystanie różnego zestawu parametrów opisujących zniekształcenia obrazu, w tym parametrów związanych ze zniekształceniami afinicznymi, parametrów związanych z wielomianem aproksymującym dystorsję radialną oraz parametrów związanych z wielomianem opisującym dystorsję tangencjalną w funkcji wag obserwacji GNSS/INS. Dla wariantu obejmującego zestaw siedmiu dodatkowych parametrów przedstawił wyniki wyrównania z pominięciem obserwacji GNSS/INS przy zmianie wartości odchylenia standardowego pomiaru punktów wiążących. Zestawił również wyniki podobnych analiz dla bloku małoobrazkowych lotniczych ukośnych zdjęć lotniczych. W ramach podsumowania tej części badań sformułował wnioski.

W rozdziale szóstym „Proponowana metodyka orientacji zdjęć ukośnych” przedstawione zostały założenia metodyki orientacji zdjęć ukośnych, scharakteryzowane zostały poszczególne jej etapy, a także wyniki jej walidacji dla sześciu bloków kontrolnych obejmujących obszary dużych miast Polski. W rozdziale tym znalazła się również szczegółowa charakterystyka poszczególnych bloków testowych. Dla każdego z nich Doktorant zaprezentował zestawienia czasów obliczeń poszczególnych etapów orientacji, rozkładu punktów wiążących w bloku, wag i błędów po wyrównaniu oraz zestawienia statystyk z odchyłek dla fotopunktów kontrolnych po wyrównaniu bloku. W dalszej części tego rozdziału Doktorant przedstawił rezultaty gęstego dopasowania obrazów na pojedynczych stereogramach pochodzących z jednego szeregu w dwóch konfiguracjach obejmujących dwa kolejne zdjęcia pozyskane w kierunku lotu oraz dwa kolejne zdjęcia pozyskane z kamery skierowanej w bok. W ramach tego procesu scharakteryzował obiekty kontrolne, dane referencyjne oraz metodę oceny dokładności wygenerowanego produktu. Zwieńczeniem tego rozdziału były wnioski odniesione bezpośrednio do zaproponowanej metodyki badań.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Po przeanalizowaniu literatury przedmiotu w zakresie wykorzystania fotogrametrii lotniczej do celów pomiarowych Doktorant słusznie zauważył, że na lotniczych zdjęciach rejestrowane są elementy infrastruktury miejskiej niewidoczne na zdjęciach pionowych. Istotnym aspektem wykorzystania zdjęć ukośnych jest możliwość tworzenia trójwymiarowych modeli miast. Stosowane dotychczas metody w zakresie orientacji bloków zdjęć lotniczych nie sprawdzają się dla zobrazowań ukośnych, w szczególności w zakresie pomiaru punktów wiążących.

Wobec powyższego Doktorant sformułował zasadniczy cel rozprawy doktorskiej, którym było zaproponowanie skutecznej metody orientacji zobrazowań ukośnych oraz określenie możliwych do uzyskania na tej podstawie dokładności pomiaru położenia punktów terenowych.

Doktorant zweryfikował hipotezę, że redukcja liczby punktów wiążących może pozytywnie wpływać na dokładność wyrównania bloku lotniczych zdjęć ukośnych. Przeprowadził analizę rozkładu punktów wiążących w testowym bloku zdjęć ukośnych oraz zweryfikował dwie zaproponowane metody redukcji liczby punktów wiążących na podstawie wyrównania dwóch bloków zdjęć o zbliżonej rozdzielczości terenowej. W pierwszym z nich zdjęcia pozyskane były kamerami średnioformatowymi, w drugim zaś kamerami małoobrazkowymi. W ramach analizy rozkładu punktów wiążących, którą Doktorant przeprowadził dla pierwszego bloku testowego poprawnie przypisał wagi (odchylenia standardowe) dla fotopunktów i wyrównał obserwacje. Wykazał, że nie dla wszystkich zdjęć osiągnięty został założony limit punktów charakterystycznych oraz, że główny wpływ na liczbę skutecznie dopasowanych punktów

charakterystycznych (punktów wiążących) ma orientacja kamery. Wykazał również, że największa liczba skutecznie dopasowanych punktów charakterystycznych osiągnięta jest dla zdjęć z tych samych kamer, w szczególności z kamery nadirowej. Wyniki tych analiz zostały zamieszczone w tabelach 20, 21. Biorąc pod uwagę liczbę skutecznych dopasowań pomiędzy zdjęciami z tych samych kamer można odnieść wrażenie, że wyniki te nie są spójne. Brak spójności dotyczy liczb zapisanych w ostatniej kolumnie tabeli 20 oraz liczb na przekątnych tabeli 21). Dla potwierdzenia powyższych spostrzeżeń Doktorant przeprowadził dodatkowe analizy w ramach trzynastu procesów orientacji bloku testowego przy różnej liczbie oczekiwanych punktów charakterystycznych dla pojedynczego zdjęcia. Rezultaty przedstawione na wykresach potwierdzają, że we wszystkich grupach zdjęć liczba skutecznych dopasowań wzrasta wraz ze wzrostem liczby pożądaných punktów charakterystycznych oraz, że zmieniają się proporcje pomiędzy dopasowaniami z poszczególnych grup. Szkoda, że Doktorant nie wskazał, jaka liczba pożądaných punktów charakterystycznych generuje najmniejsze proporcje. W kontekście dalszych badań związanych z redukcją punktów wiążących powyższe analizy należałoby pominąć. Doktorant wykazał również, że w grupie punktów wiążących dominują punkty występujące na dwóch zdjęciach niekorzystne z punktu widzenia geometrii bloku oraz, że punkty te są wynikiem dopasowania głównie zdjęć ukośnych z tego samego kierunku, a także zdjęć nadirowych. Doktorant powołał się na wyniki innych badań stwierdzając, że w przypadku ograniczenia obserwacji do punktów wiążących między zdjęciami nadirowymi lub tylko ukośnymi spada dokładność wyrównania bloku. Jednakże nie wykonał analiz potwierdzających tę obserwację.

Na podstawie wyników dotychczasowych analiz Doktorant opracował metodykę redukcji liczby punktów wiążących uwzględniającą zrównoważenie liczby typów obserwacji w bloku ukośnych zdjęć lotniczych na podstawie rozkładu kątów wcinających dla poszczególnych punktów wiążących na zdjęciu oraz na podstawie analizy dopasowań między zdjęciami dla poszczególnych wiązań. W pierwszej metodzie redukcji podzielił zdjęcie na obszary w układzie biegunowym przyjmując 16 obszarów dla wartości azymutu i 5 obszarów dla wartości inklinacji. W każdym z tych obszarów zachował odpowiednią liczbę punktów wiążących. Dla każdej obserwacji na zdjęciu wyznaczył wartości kątowe w postaci azymutu i inklinacji odpowiadające kierunkom mierzonym między danym punktem wiążącym a środkiem rzutu zdjęcia. Tym sposobem wyeliminował obserwacje łączące tylko dwa zdjęcia pozostawiając te, które łączą zdjęcia ukośne tylko z jednego kierunku i zdjęcia nadirowe. Doktorant uzyskał zamierzony cel wskazując konfigurację wiązań najkorzystniejszą dla procesu aerotriangulacji. W odniesieniu do metody drugiej bazującej na zachowaniu połączeń między zdjęciami przedstawił wyniki redukcji punktów wiążących w trzech wariantach. Stwierdził, że zamiast faworyzowania pojedynczych punktów o najwyższej liczbie obserwacji dla konkretnego obszaru zdjęcia można utworzyć listę zdjęć z którymi z którymi łączy dane zdjęcie znajdujące się wewnątrz tego obszaru punkty wiążące i zachować po jednym punkcie dla każdego z tych połączeń. Doktorant wykazał, że dla wszystkich wariantów uzyskano podobną liczbę punktów wiążących i obserwacji. Wykazał również, że w rozkładzie zredukowanych punktów wiążących największy jest udział punktów łączących zdjęcia nadirowe i ukośne w jednym kierunku oraz zdjęcia nadirowe i ukośne w wielu kierunkach. Doktorant zauważył, że stosunkowo niewielki procent pozostawionych punktów łączy jedynie dwa zdjęcia. Stwierdza, że wobec tego faktu dyskusyjne jest również usuwanie z wyrównania wszystkich punktów łączących mniej niż dwa zdjęcia jest faktycznie pożądane. Stwierdzenie to w kontekście roli jaką spełnia punkt wiążący wymaga dodatkowego komentarza jego autora.

Przed przystąpieniem do wyrównania bloku ze zredukowaną liczbą punktów wiążących Doktorant zbadał wpływ szumu dodanego do obserwacji GNSS/INS na wyniki tego wyrównania. Zaprezentowane na rysunku 57 wyniki sugerują, że wartości szumu dodane do przybliżonych wartości kątowych elementów orientacji zewnętrznej wpływają na wartości odchyłeń standardowych współrzędnych fotopunktów kontrolnych przed wyrównaniem. Spostrzeżenie to, jak również sens badania tego rodzaju szumu w obliczu obecnego stanu wiedzy wymaga wyjaśnienia.

W ramach wyrównania obserwacji w bloku ze zredukowaną liczbą punktów wiążących metodą bazującą na równoważeniu kątów Doktorant przeprowadził serię wyrównań aerotriangulacji zmieniając wagi (odchylenia standardowe) pomiaru współrzędnych punktów wiążących z pominięciem obserwacji GNSS/INS. Przedstawione na rysunku 58 wykresy potwierdzają powszechnie znane relacje pomiędzy wagą obserwacji pochodzącej z różnych grup pomiaru oraz dokładnością wyników aerotriangulacji. Wobec powyższego przytoczone badania dotyczące zarówno wpływu wartości odchyłeń standardowych a priori pomiaru współrzędnych punktów wiążących jak również wpływu odchyłeń standardowych a priori pomiaru liniowych i kątowych elementów orientacji zewnętrznej nie stanowią wartości dodanej dla obecnego stanu wiedzy w zakresie wyrównania aerotriangulacji bloku zdjęć lotniczych. Doktorant wykazał, że możliwe jest wykonanie orientacji lotniczych zdjęć ukośnych z wykorzystaniem zaledwie około 3% liczby punktów wiążących. Wykazał również że wyniki wyrównania uzyskane w oprogramowaniu OrientAL oraz Pix4D nie są zbieżne i wskazuje tego przyczynę. Można zatem mieć wątpliwość czy tego rodzaju analizy bazujące na różnych algorytmach wyrównania dają miarodajne rezultaty. W tym kontekście zamieszczone w tabeli 25 wyniki analizowane w odniesieniu do wartości błędów średnich liczonych z poprawek do współrzędnych fotopunktów kontrolnych podważają sens redukcji liczby punktów wiążących. Potwierdzają to wyniki uzyskane dla bloków zdjęć lotniczych w których liczba punktów wiążących była zredukowana metodą bazującą na zachowaniu połączeń. Doktorant upatruje przyczyny mniejszej dokładności wyników wyrównania aerotriangulacji poszczególnych bloków lotniczych zdjęć ukośnych w braku w oprogramowaniu OrientAL możliwości wagowania obserwacji, co implikuje konieczność wyboru uniwersalnego systemu wyrównania obserwacji, spójnego dla wszystkich etapów tego procesu.

Doktorant słusznie zauważył, że na dokładność orientacji zewnętrznej lotniczych zdjęć ukośnych mają wpływ nie tylko wagi obserwacji, ale również znajomość elementów orientacji wewnętrznej poszczególnych kamer. Przeprowadził badania w zakresie wpływu dodatkowych parametrów opisujących dystorsje na dokładność wyników aerotriangulacji. Wykazał, że błędy średnie liczone z poprawek do fotopunktów kontrolnych są najmniejsze w przypadku wykorzystania dziewięciu parametrów dodatkowych oraz porównywalne w przypadku zmniejszenia ich liczby do siedmiu przy jednoczesnym zachowaniu parametrów opisujących zniekształcenia o charakterze afinicznym. Potwierdził to również dla serii wyrównań przy uwzględnieniu różnych odchyłeń standardowych pomiaru punktu wiążącego z wyłączeniem obserwacji GNSS/INS. Biorąc pod uwagę powyższe analizy można mieć wątpliwość czy tak zaplanowana metodyka badań jest zgodna ze standardami w zakresie wyrównania obserwacji w bloku zdjęć lotniczych a w szczególności czy analizy, których funkcją były odchylenia standardowe obserwacji (wiązania, GNSS/INS) mają uzasadnienie wobec powszechnie stosowanego w wyrównaniu testu a priori/a posteriori. Doktorant potwierdził, że w każdym rozpatrywanym wyrównaniu wykorzystanie dodatkowych parametrów opisujących dystorsje

zwiększa dokładność wyników aerotriangulacji oraz, że przy takiej samej ich liczbie lepsze rezultaty wyrównania uzyskuje się dla bloków zdjęć z pomierzonymi elementami orientacji zewnętrznej ze względu na ich silną korelację z elementami orientacji wewnętrznej. Podsumowując badania związane z samokalibracją Doktorant wykazał, że zarówno dla bloków testowych zdjęć średnioformatowych, jak i dla bloków testowych zdjęć małoobrazkowych przy takiej samej liczbie zredukowanych punktów wiążących, o wyższej dokładności wyników aerotriangulacji decyduje głównie większa liczba dodatkowych parametrów oraz w znacznie mniejszym stopniu włączenie do wyrównania obserwacji GNSS/INS, przy czym stwierdził, że zwiększenie liczby parametrów dodatkowych przy braku obserwacji GNSS/INS wpływa na zmniejszenie dokładności wyznaczenia rzędnej. Można zatem wywnioskować, że tylko kompleksowe wyrównanie bloku bez pomijania jakichkolwiek grup obserwacji pozwala wyciągnąć właściwe wnioski.

W ramach weryfikacji zaproponowanej metodyki Doktorant zestawiał czasy obliczeń dla poszczególnych etapów orientacji zdjęć ukośnych. Wobec celu rozprawy doktorskiej, różnej liczby zdjęć w poszczególnych blokach, a także różnych ich rozdzielczości przestrzennej i tekstury tego typu zestawienia nie są miarodajne. Nie znajdują również uzasadnienia dla zestawień statystyk z odchyłek dla fotopunktów kontrolnych po wyrównaniu w przypadku kiedy zestawiane są dokładności a' priori i a' posteriori. Z analizy ostatnich z tych zestawień wynika, że Doktorant przyjął dla wszystkich współrzędnych takie same dokładności a' priori pomiaru i identyfikacji w fotopunktów w terenie. Wobec przytaczanych wyników a' posteriori takie rozwiązanie budzi szereg wątpliwości. Analizując analogiczne rezultaty zamieszczone dla innych bloków testowych można przypuszczać, że w procesie wyrównania obserwacji Doktorant zignorował test a' priori/a' posteriori odniesiony do pomiarów terenowych. Dla każdego z bloków testowych wykazał, że zastosowana przez niego metodyka pozwala uzyskać wartości błędów średnich liczonych z poprawek do współrzędnych fotopunktów kontrolnych mniejszych od wielkości terenowej piksela w środku zdjęcia.

Doktorant przeprowadził również walidację masowych pomiarów fotogrametrycznych w postaci gęstego dopasowania chmury punktów z wykorzystaniem jednego z pięciu bloków testowych. Na podstawie danych referencyjnych w postaci chmury punktów z naziemnego skaningu laserowego wykonał analizy porównawcze położenia przestrzennego punktów dla dwóch różnych fasad budynków, których wyniki przedstawił w postaci słabo czytelnych rastrów różnic. Wobec tezy rozprawy doktorskiej ten etap walidacji należałoby pominąć.

Zaprezentowane przez Doktoranta wnioski mają zbyt obszerną treść i w wielu aspektach mają bardziej charakter dyskusji i rozważań w oderwaniu od tezy rozprawy doktorskiej. Zamieszczone w podsumowaniu (streszczeniu) odwołanie do dokładności położenia punktów z gęstego dopasowania obrazów jako potwierdzenie słuszności postawionej tezy jest niezrozumiałe i wymaga skomentowania.

4. Uwagi szczegółowe i redakcyjne

Poziom edycyjny przedstawionego do recenzji tekstu rozprawy doktorskiej jest dość wysoki, mimo iż Doktorant nie ustrzegł się błędów redakcyjnych, stylistycznych i językowych. Najistotniejsze z nich dotyczą:

- nieprecyzyjnego tytułowania nagłówek w tabelach np. w tabeli 16 zamiast tytułu „Punkt główny” powinien być zamieszczony tytuł „Współrzędne punktu głównego”,

- wprowadzenia pojęcia szumu obserwacji w odniesieniu do kątowych elementów orientacji zewnętrznej (str. 144),
- stosowanie pojęcia „waga dokładności pomiaru” (str. 145),
- stosowanie pojęcia „wzrost dokładności dla punktów kontrolnych” (str. 154),
- stosowanie pojęcia „lepsze wyniki” (str. 157),
- niezrozumiałego zapisu „5+2” w kolumnie tabeli 30 zatytułowanej ADP,
- odniesienie zapisów w tabeli 32 do innego bloku testowego,
- nieczytelnych rysunków przedstawiających zasięgi terenowe testowych bloków zdjęć ukośnych (rys. 66, 67, 68, 69)
- braku opisów (definicji) dla niektórych wartości liczbowych zamieszczonych w tabelach: 42, 45, 46, 47, 52, 54, 55.

5. Wniosek końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska mieści się w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport. Stanowi istotny wkład w rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego orientacji lotniczych zdjęć ukośnych. Głównym osiągnięciem Doktoranta jest opracowanie metodyki redukcji liczby punktów wiążących w bloku ukośnych zdjęć lotniczych na podstawie uprzedniej analizy ich rozmieszczenia. W szczególności osiągnięcie to sprowadza się do zaproponowania dwóch metod redukcji z których pierwsza dotyczy równoważenia kątów wcinających, druga zaś zachowania połączeń między zdjęciami, a także do wykazania, że redukcja ta przy właściwym sparametryzowaniu bloku wydatnie wpływa na jakość wyników jego wyrównania. Zaproponowane przez Doktoranta działania metodyczne umożliwiły wyznaczenie położenia przestrzennego pomierzonego na zdjęciu punktu z dokładnością podpikselową.

Doktorant osiągnął zatem zasadniczy cel rozprawy i udowodnił postawioną tezę badawczą, wykazując się przy tym należyłą wiedzą teoretyczną w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, a także samodzielnością w prowadzeniu pracy naukowej i rozwiązywaniu problemów badawczych.

Doktorant nie ustrzegł się jednak uchybień natury merytorycznej, językowej i edytorskiej. Jednakże, błędy te nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy doktorskiej, która jest Jego oryginalnym osiągnięciem naukowym.

Przedstawiona do recenzji rozprawa mgr. inż. Wojciecha Ostrowskiego nt. „Analiza możliwości pomiarowych lotniczych zdjęć ukośnych” **spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (tekst jednolity, Dz. U. z 2021 r. poz. 478, 619)**

Mając na uwadze powyższe, wnoszę o przyjęcie niniejszej rozprawy do publicznej obrony.

dr hab. inż. Ireneusz Ewiak, prof. WAT