



Adam Boroń, Marta Borowiec

AEROTRIANGULACJA ARCHIWALNEGO, NIEREGULARNEGO BLOKU ZDJĘĆ ZALESIONYCH TERENÓW GÓRSKICH¹

IRREGULAR BLOCK OF WOODED MOUNTAINOUS AREA ARCHIVAL PHOTOGRAPHS AEROTRIANGULATION

*Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej
AGH University of Science and Technology, Faculty of Mining Surveying and Environmental Engineering, Dept. of Photogrammetry and Remote Sensing Informatics*

STRESZCZENIE: Przedmiotem publikacji jest technologia zastosowana do wykonania aerotriangulacji bardzo dużego i nietypowego bloku zdjęć lotniczych. 298 zdjęć spektrostrefowych w skali 1:10000, dotyczących obszaru Bieszczadzkiego Parku Narodowego, wykonano w 1994 roku w trzech różnych terminach. Blok zdjęć zawiera 14 szeregów o liczebności od 5 do 34 zdjęć. Z 14 szeregów 12 wykonanych jest równolegle (azymut osi szeregów ok. 150 g) natomiast w dwóch skrajnych szeregach różne kierunki lotu związane były z kierunkiem granic: Słowackiej i Ukrainiejskiej. Pokrycie podłużne zdjęć, ze względu na górski charakter terenu wyniosło średnio ok. 70% natomiast poprzeczne charakteryzowało się bardzo dużą zmiennością od 20% do ponad 50%.

Aerotriangulację wykonano na obrazach cyfrowych powstałych z zeskanowania z rozdzielczością 1000 dpi oryginalnych zdjęć lotniczych. Na podstawie analizy geometrii bloku wybrano 46 rejonów w których zaprojektowano fotopunkty, a następnie pomierzono je w terenie metodą GPS. Punkty wiążące oraz fotopunkty pomierzone zostały na wszystkich zdjęciach z wykorzystaniem fotogrametrycznej stacji cyfrowej VSD-AGH. Ze względu na duże trudności z identyfikacją punktów wiążących na koronach drzew (ok. 80% wszystkich punktów wiążących) wybór punktów w pasach pokrycia poprzecznego szeregów wykonywano na stereogramach o bazie poprzecznej.

Obliczenie aerotriangulacji wykonano metodą niezależnych wiązek z wykorzystaniem programu AEROSYS amerykańskiej firmy AeroSys Consulting. Uzyskano następującą charakterystykę dokładnościową wyrównania aerotriangulacji: RMSE na zdjęciach: $V_x = \pm 7,0 \mu\text{m}$, $V_y = \pm 6,2 \mu\text{m}$, $V_{xy} = \pm 9,4 \mu\text{m}$. Średnie odchylenie standardowe punktów wyznaczanych: $S_x = 0,188 \text{ m}$, $S_y = 0,189 \text{ m}$, $S_z = 0,590 \text{ m}$.

Uzyskane wyniki można uznać za bardzo dobre biorąc pod uwagę warunki wyboru i pomiaru większości punktów wiążących na koronach drzew.

SŁOWA KLUCZOWE: aerotriangulacja, osnowa fotogrametryczna, fotogrametria cyfrowa

¹ praca wykonana w ramach badań statutowych AGH.

1. WSTĘP

Opracowanie autogrametryczne bloku zdjęć lotniczych wymaga znajomości elementów orientacji zewnętrznej wszystkich zdjęć lub znajomości współrzędnych fotopunktów dla każdego stereogramu.

W fotogrametrii problem ten jest rozwiązywany na drodze kameralnego zagęszczenia osnowy fotogrametrycznej zwanego aerotriangulacją przestrzenną. Aerotriangulacja jest ważnym etapem technologii tworzenia map ze zdjęć lotniczych.

O jakości (dokładności) aerotriangulacji decyduje wiele czynników:

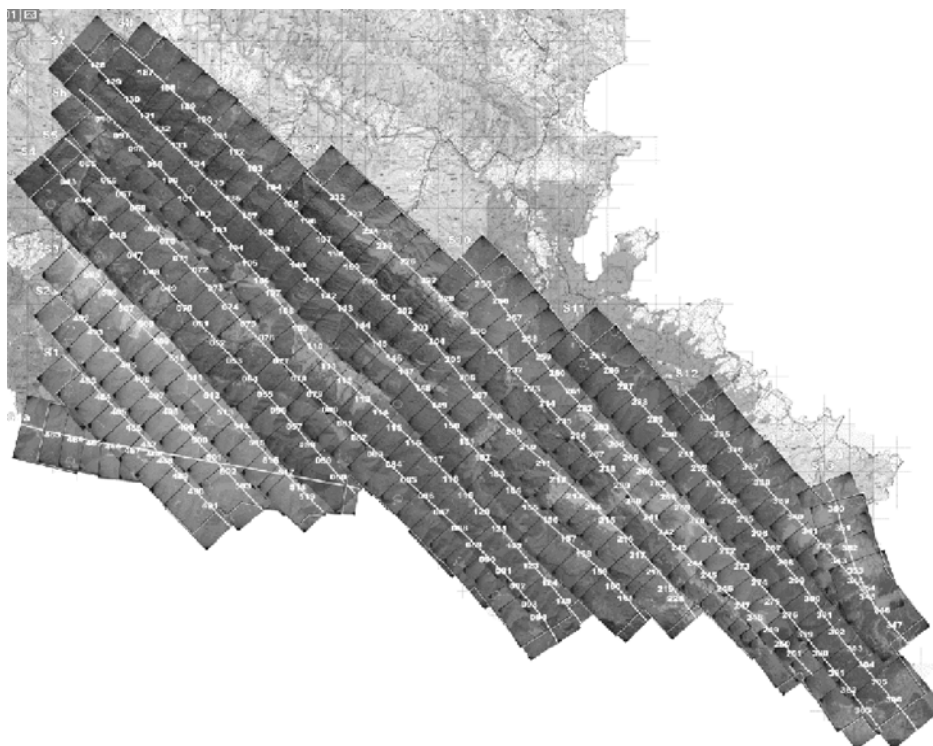
- dokładność wyznaczenia w terenie i identyfikacji punktów kontrolnych na zdjęciach (fotopunktów),
- rozmieszczenie fotopunktów w ramach bloku, poprawny wybór punktów wiążących w aspekcie ich rozmieszczenia i identyfikacji na wszystkich zdjęciach na których występują,
- dokładność pomiaru na zdjęciach fotopunktów i punktów wiążących, oraz
- przyjęta metoda obliczeń i wyrównania aerotriangulacji.

Dla standardowych, typowych warunków terenowych i zdjęciowych spełnienie wymogów dokładnościowych aerotriangulacji nie jest trudne. Sytuacja wygląda inaczej, gdy mamy do czynienia ze zdjęciami na których trudne lub wręcz niemożliwe staje się przeniesienie doświadczeń z pomiaru zdjęć typowych. Trudności te dotyczą głównie wyboru na zdjęciach i pomiaru w terenie fotopunktów naturalnych w przypadku, gdy czasokres pomiędzy wykonaniem zdjęć i pomiarem jest bardzo długi. Drugim czynnikiem ograniczającym dokładność jest brak możliwości wyboru punktów wiążących spełniających warunek jednoznacznej identyfikacji na wszystkich zdjęciach na których występują. Sytuacja taka ma miejsce w przypadku zdjęć zwartych kompleksów leśnych obejmujących cały obszar bloku. Tam wybór punktów wiążących ograniczony jest głównie do punktów na koronach drzew, których jednoznaczna identyfikacja na zdjęciach metodą monoskopową jest praktycznie niemożliwa.

Zdając sobie sprawę z powyższych trudności, w Zakładzie Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH podjęto próbę opracowania technologii wykonania aerotriangulacji o jak najwyższej dokładności dla bardzo dużego bloku archiwalnych zdjęć zalesionych terenów górskich w rejonie Bieszczadzkiego Parku Narodowego.

2. CHARAKTERYSTYKA ZDJĘĆ

Zdjęcia spektrostrefowe w skali 1:10000 obszaru Bieszczadzkiego Parku Narodowego (BdPN) wykonane zostały w 1994 roku, kamerą RC 10 o stożku półnormalnokątnym ($f = 210$ mm), bez kompensacji rozmycia, w formacie zdjęć 23×23 cm. Wysokość absolutna lotu wynosiła ok. 3300 m. Maksymalna różnica wysokości punktów terenowych obszaru odfotografowanego wynosiła 800 m, natomiast maksymalna różnica wysokości środków rzutów wykonanych zdjęć osiągnęła prawie 400 m. Wykonane zdjęcia charakteryzowały się dużą zmiennością skali, zarówno ze względu na górzisty charakter terenu jak również niedotrzymanie warunków projektu lotu.

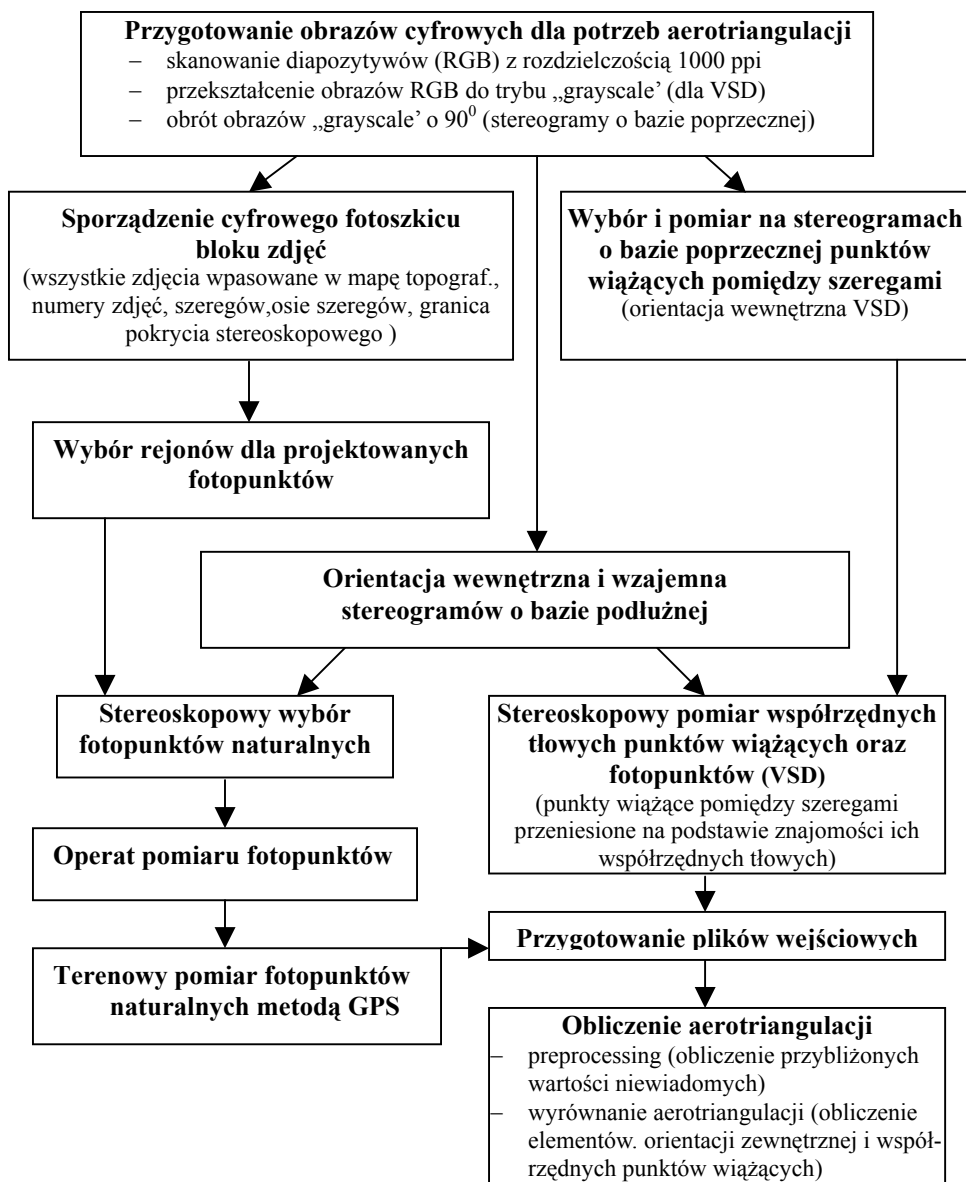


Rys. 1. Fotoszkie blok zdjęć spektrostrefowych BdPN
Fig. 1. Photomosaic of BdPN infrared colour photographs

Ze względu na obszar BdPN, który graniczy z Ukrainą i Słowacją, lot fotogrametryczny został zaprojektowany i wykonany nietypowo. Dwanaście szeregów wykonanych zostało równoległe (azymut osi szeregów ok. 135°). Dwa skrajne szeregi natomiast miały kierunki lotu związane z kierunkami granic Słowackiej i Ukrainińskiej – azymut osi pierwszego szeregu wynosił ok. 100° , a szeregu czternastego ok. 160° . Wszystkie loty wykonywane były w jednym kierunku (północny-zachód południowy-wschód). Pokrycie podłużne zdjęć, ze względu na górski charakter terenu wynosiło średnio ok. 70% natomiast poprzeczne charakteryzowało się bardzo dużą zmiennością od 20% do ponad 50%. Zdjęcia wykonane były w trzech różnych terminach: 6 sierpnia (szeregi 1 do 4), 14 września (szeregi 5 do 10) i 15 września (szeregi 11 do 14). Różnice w terminach wykonania zdjęć, nawet w ramach tego samego szeregu (szereg 10) powodowały duże problemy z jednoznaczną identyfikacją homologicznych punktów dostosowania na różnych zdjęciach (znaczne różnice warunków atmosferycznych).

Blok liczący 298 zdjęć był bardzo nieregularny. Ilość zdjęć w szeregach zawierała się w granicach od 5 do 34 zdjęć. Szereg 1 i 14 wbiły się skośnie w pozostałe, natomiast szereg 10 wykonany był w dwóch odcinkach z zakładką kilku zdjęć. Po wyeliminowaniu zdjęć o tej samej zawartości informacyjnej, ostateczna liczba zdjęć w bloku wyniosła 285. Kształt bloku zdjęć i przebieg osi szeregów pokazany jest na rys. 1.

3. SCHEMAT TECHNOLOGII WYKONANIA AEROTRIANGULACJI



Rys. 2. Schemat technologiczny wykonanej aerotriangulacji
Fig. 2. Aerotriangulation block-diagram

Przyjęto założenie, że aerotriangulacja wykonana zostanie na obrazach cyfrowych zdjęć lotniczych. Punkty kontrolne (fotopunkty naturalne) pomierzone miały być w terenie na podstawie przygotowanego wcześniej operatu pomiarowego. Punkty wiążące stanowiły miały szczegóły sytuacyjne, a nie punkty nakłuwane (jak to jest w przypadku aerotriangulacji na zdjęciach analogowych). Opracowany schemat postępowania bazował na wykorzystaniu do pomiaru i odczytania zdjęć stacji fotogrametrycznej VSD-AGH. Opracowany i zrealizowany schemat technologiczny aerotriangulacji na obrazach cyfrowych przedstawiono na rys. 2.

Pierwszym etapem prac kameralnych była zamiana barwnych diapozytywów zdjęć spektrostrefowych na postać cyfrową. Skanowanie wykonano na profesjonalnym skanerze fotogrametrycznym PHOTOSCAN TD firmy INTERGRAPH z rozdzielczością .1000 ppi (piksel terenowy = 25 cm). Dla potrzeb aerotriangulacji należało te obrazy zamienić na tryb „grayscale”, ponieważ VSD nie obsługuje plików RGB.

Ze względu na przyjętą metodę wyboru punktów wiążących pomiędzy szeregami na stereogramach o bazie poprzecznej wykonano dodatkowy resampling poprzez obrót wszystkich zdjęć o kąt 90°.

Dla sporządzenia fotoszkiwu, produktu opisanego poniżej, należało w jednym pliku zgromadzić wszystkie obrazy cyfrowe zdjęć bloku. Dla tego celu zdegradowano zeskanowane pliki do rozdzielczości 100 dpi (1 piksel = 0.25 mm = 2.5 m w terenie).

4. FOTOSZKIC

Przy projektowaniu lokalizacji fotopunktów i punktów wiążących nieodzowna jest znajomość wzajemnego położenia zdjęć względem siebie oraz w stosunku do obszaru opracowania. Nowoczesna technika komputerowa umożliwia wykonanie fotoszkiwu cyfrowego zawierającego wszystkie zdjęcia bloku nałożone na siebie, a jednocześnie na mapę topograficzną jako plik referencyjny. Taki produkt, jeśli uzupełniony jeszcze będzie numerami zdjęć, wskreślonym przebiegiem osi szeregów, numerami szeregów, oraz zakresem dwuobrazowego pokrycia terenu zdjęciami jest produktem o wartości nie do przecenienia.

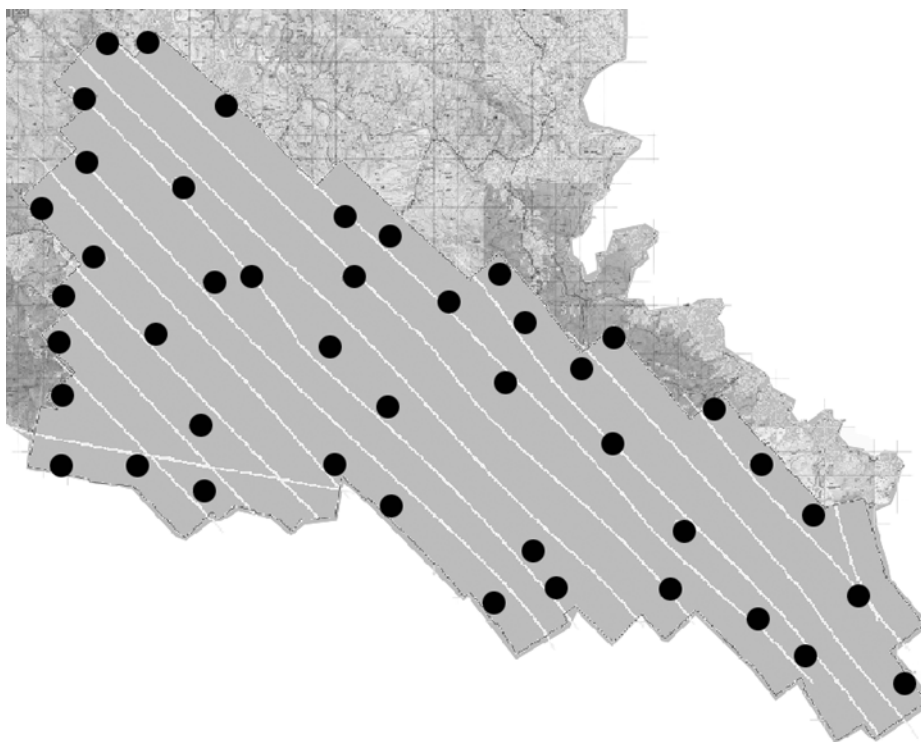
Wykonanie takiego fotoszkiwu jest bardzo pracochłonne, niemniej jednak wykorzystywany jest nie tylko dla potrzeb aerotriangulacji, ale również w pozostałych etapach technologicznych wykonania mapy. W aerotriangulacji na takim fotoszkiwie można dodatkowo nanieść fotopunkty oraz wybrane punkty wiążące. Wtedy taki fotoszkiw stanowi jednocześnie cyfrowy odpowiednik geometrycznego projektu aerotriangulacji. Jeśli wykona się nakładanie na siebie obrazów zdjęć w postaci półprzezroczystej to widać wyraźnie zarówno pokrycie podłużne jak i poprzeczne zdjęć.

Fotoszkiw całego bloku zdjęć BdPN, sporządzony zgodnie z podanymi wyżej uwagami pokazany jest na rys. 1. Fotoszkiw utworzony w ramach naszego projektu wykonany został w programie PHOTOSHOP 6.01 firmy ADOBE w taki sposób, że wszystkie zdjęcia i inne dane opisowe stanowiły osobne warstwy. Pozwalało to na ekstrakowanie z treści pliku tylko istotnych dla danej analizy danych.

5. PROJEKT I POMIAR FOTOPUNKTÓW NATURALNYCH

Poprawne rozmieszczenie geometryczne fotopunktów wewnątrz bloku zdjęć, oraz wybór jednoznacznie identyfikowalnych fotopunktów naturalnych na zdjęciach, w wybranych wcześniej rejonach, jest warunkiem koniecznym właściwego wykonania aerotriangulacji. Jednoznaczna identyfikacja szczegółów sytuacyjnych wybranych jako fotopunkty naturalne na zdjęciach umożliwia jednoznaczną identyfikację wybranego szczegółu w terenie, na etapie pomiaru terenowego fotopunktów.

Wybór rejonów w których należało umieścić fotopunkty wykonano z wykorzystaniem cyfrowego fotoszkieca. Rejony na obwodzie bloku wybierano w taki sposób, aby zapewnić uzbrojenie fotopunktem każdego załamania (narożnika) bloku zdjęć oraz początków i końców szeregów. Pozostałe rejony wybrano wewnątrz bloku. Ogółem przewidziano do pomiaru 48 fotopunktów. Rozmieszczenie wybranych i pomierzonych fotopunktów pokazane jest na rys. 3.



Rys. 3. Szkic rozmieszczenia pomierzonych fotopunktów
Fig. 3. Location of measured control-points

Kolejnym etapem było wybranie w wytypowanych rejonach szczegółów sytuacyjnych które miały być pomierzone jako fotopunkty naturalne w terenie. Do szczegółowego wyboru fotopunktów na zdjęciach wykorzystano zestrojone wewnątrz i

wzajemnie stereogramy na VSD. Najlepszymi szczegółami do wyboru jako fotopunkty są punkty pochodzenia antropogenicznego. Narożniki dachów, słupy, przecięcia różnego rodzaju krawędzi itp. Niestety na terenie Bieszczad takie punkty można było wybrać jedynie wewnątrz bloku. Punkty obwodowe, położone głównie wzdłuż granic państwa stanowiły punkty naturalne takie jak kamienie, krzewy, drzewa, kępy roślinności niskiej itp. Największym problemem było rozpoznanie wybranego punktu i przewidzenie jak będzie wyglądał po ośmiu latach (tyle czasu minęło pomiędzy wykonaniem zdjęć, a pomiarem terenowym). Z tego powodu lokalizację punktu wybierano wielowariantowo, tak aby pomierzyć w danym rejonie przynajmniej jeden, możliwy do zidentyfikowania. Stwierdzono, że w tak trudnych warunkach identyfikacji terenowej wybranych kameralnie punktów celowe jest aby podczas pomiaru obecny był fotogrametra, najlepiej ten który przygotowywał projekt pomiaru. Nieznajomość specyfiki pomiaru fotopunktów na zdjęciach powoduje, że wybierane przez nefotogrametrów w terenie punkty często nie są możliwe do odszukania na zdjęciach archiwalnych.

Dla odszukania w terenie lokalizacji wybranego kameralnie fotopunktu naturalnego przygotowano operat w skład którego wchodziła mapa topograficzna w skali 1:25000 z zaznaczonymi wszystkimi fotopunktami. Dodatkowo dla każdego fotopunktu przygotowano wydruki rejonu w którym on występuje w trzech różnych skalach: 1:11000, 1:2.800, i robocza 1:700. Wydruk w skali 1:700 stanowił podstawę do odszukania zaznaczonego na nim jednego z wariantów pomiarowych. Wydruki w skalach drobniejszych miały jedynie pomóc w dotarciu do punktu.

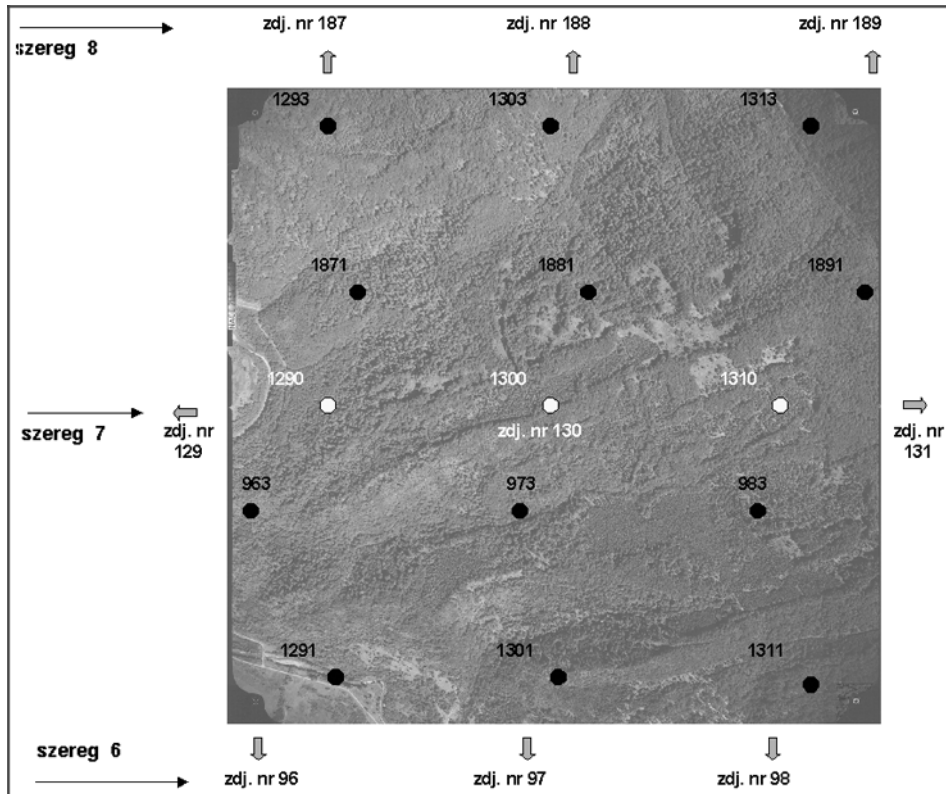
Ogółem pomierzono fotopunkty w 46 zaprojektowanych rejonach (rys. 3). W dwóch przypadkach okazało się to niemożliwe, jeden z rejonów znajdował się już poza granicą kraju, a w drugim nie udało się jednoznacznie zidentyfikować żadnego punktu. Dwa z fotopunktów pomierzonych przez nefotogrametrów przyjęto jako Z-punkty, ze względu na niemożliwą sytuacyjną identyfikację na zdjęciach.

6. PROJEKT I POMIAR PUNKTÓW WIĄŻĄCYCH

Punkty wiążące to podstawowa liczebnie grupa punktów mierzonych na zdjęciach lotniczych dla potrzeb aerotriangulacji. Punkty wiążące powinny występować co najmniej na trzech zdjęciach, dlatego wybiera się je w pasach potrójnego pokrycia zdjęć. Jeżeli punkt wiążący znajduje się jednocześnie na zdjęciach w dwóch szeregach (pokrycie poprzeczne) to może maksymalnie być odfotografowany na sześciu zdjęciach (przy standardowych pokryciach zdjęć). Im więcej pomierzemy punktów wiążących tym gęstsza będzie sieć wiązek i tym bardziej wiarygodne wyniki obliczeń aerotriangulacji. Przyjęto założenie, że na osi każdego zdjęcia wybierze się po trzy punkty wiążące, rozmieszczone w rejonach Grubera. Ponieważ na każdym zdjęciu (poza skrajnymi w szeregach) obrazują się również punkty położone na osiach sąsiednich zdjęć, stąd na każdym zdjęciu należy pomierzyć 9 punktów wiążących szereg wzdłuż. Dodatkowo na każdym zdjęciu obrazują się wybrane wg powyższej zasady punkty wiążące z górnego i dolnego szeregu. W efekcie otrzymamy liczbę 15 punktów wiążących dla każdego zdjęcia (z wyjątkiem skrajnych zdjęć w szeregach, oraz zdjęć skrajnych szeregów – gdzie liczba punktów wiążących będzie mniejsza).

W stosowanych wcześniej projektach aerotriangulacji numerację punktów wiążących wprowadzono arbitralnie na projekcie, a podczas pomiaru zdjęć posługiwano się odczytanymi z projektu numerami. Postępowanie takie miało swoje zalety, ale również wady, do których zaliczyć należy możliwość popełnienia błędu w numeracji, niemożliwego do stwierdzenia bez projektu, brak logicznej ciągłości numerowania dla punktów dodatkowych, nieuwzględnionych w projekcie i wreszcie konieczność ciągłego śledzenia projektu dla nadawania numerów. Biorąc pod uwagę bardzo dużą ilość zdjęć w bloku, w obawie przed błędami w numeracji podczas pomiaru zdjęć przez różnych obserwatorów opracowano algorytm numeracji który uniezależnił numerację punktów wiążących od projektu, a związał numery punktów z numerami zdjęć. Przyjęta metoda umożliwiła łatwą identyfikację położenia punktu w bloku oraz szybkie usuwanie błędów grubych. Przyjęta metoda numeracji punktów wiążących, pokazana na rys. 5. polegała na tym, że numery punktów wiążących składały się z numeru zdjęcia oraz na ostatniej pozycji dodanej cyfry 0,1 lub 2. Numer zdjęcia dotyczył tylko punktów na osi tegoż zdjęcia. Dodana cyfra 0 mówiła o tym, że jest to punkt środkowy, cyfra 1, że jest to punkt dolny, a cyfra 2, że jest to punkt górny. W przypadku wybrania punktów dodatkowych, poza trzema podstawowymi, należało dla punktu górnego dodać cyfrę parzystą 4 lub 6, dla punktów dolnych nieparzystą 3 lub 5, natomiast dla punktów w okolicy środka zdjęcia cyfry 9 lub 8. Przyjęta metoda numeracji sprawdziła się w praktyce, pozwalając łatwo znajdować i usuwać błędy w numeracji.

Najważniejszym problemem związanym z pomiarem punktów wiążących jest identyfikacja wybranego punktu na wszystkich zdjęciach na których występuje. W przypadku jednoznacznego szczegółu sytuacyjnego identyfikacja może być wykonywana monoskopowo (jest tak w wielu stacjach cyfrowych, gdzie istnieje możliwość wyświetlenia wszystkich zdjęć z danym punktem obok siebie). Natomiast jeżeli identyfikacja punktu jest bardzo trudna metoda ta się nie sprawdza. Wtedy wykorzystuje się efekt stereoskopowy, który uniemożliwia popełnienie błędu grubego przy identyfikacji homologicznych punktów. Najczęściej efekt ten jako naturalny wykorzystuje się przy pomiarze sąsiednich zdjęć w szeregu, traktując go często jako kontrolę pomiaru monoskopowego, natomiast zawsze punkty pomiędzy szeregami przenosi się metodą monokularną. Sytuacja wygląda inaczej jeżeli nie można przenieść monokularnie wybranych punktów z szeregu na szereg ze względu na trudności identyfikacyjne. Przypadek ten dotyczy przede wszystkim punktów na koronach drzew, tak jak w naszym przypadku. Jedynym rozwiązaniem tego problemu jest wykorzystanie efektu stereoskopowego zarówno przy przeniesieniu punktów pomiędzy zdjęciami w szeregu jak i pomiędzy szeregami. W tym celu należało obrócić wszystkie zeskanowane zdjęcia o 90° i zestawić w oparciu o fotoszkiełki pary stereoskopowe o bazie poprzecznej. Na takich stereogramach (rys. 6) wybierano z wykorzystaniem stereoskopii punkty górne (...2) i dolne (...1) na koronach drzew. Wykonanie orientacji wewnętrznej umożliwiło zapisanie współrzędnych łowych pomierzonych punktów. W następnym etapie, po zestrojeniu stereogramów normalnych (o bazie podłużnej) odtwarzano położenie pomierzonego wcześniej punktu na zdjęciu poprzez jego współrzędne łowe i przenoszono go dalej na inne zdjęcia w szeregu. Postępowanie takie, pomimo tego, że stosunkowo żmudne było jedyną metodą zapewniającą poprawną identyfikację. Punkty środkowe zdjęć (...0) wybierane były stereoskopowo i mierzone na stereogramach o bazie podłużnej.



Rys. 5. Przyjęty sposób numeracji punktów wiążących
 Fig. 5. A way of tie-points numbering

Kontrolą poprawności pomierzonych punktów na stereogramie było obliczenie orientacji wzajemnej. W przypadku problemów ze stereoskopową identyfikacją często wykonywano najpierw orientację wzajemną, a dopiero potem mierzono punkty wiążące.

7. OBLICZENIE AEROTRIANGULACJI

Do obliczenia aerotriangulacji metodą niezależnych wiązek wykorzystano amerykański program AEROSYS firmy AeroSys Consulting. Dokładność naturalnych fotopunktów terenowych zadeklarowano dla X i $Y = \pm 0.2$ m, oraz dla $Z = \pm 0.3$ m. Pomimo, iż rzeczywista dokładność pomiaru fotopunktów metodą GPS była o rząd większa, przyjęcie takiej charakterystyki dokładnościowej było podyktowane stosunkowo dużym błędem identyfikacji fotopunktów w terenie i na zdjęciu.

Ogólna charakterystyka bloku przedstawiała się następująco:

- zdjęć ogółem: 286,
- punktów wiążących: 1099, (na jedno zdjęcie przypadają 4 nowe punkty wiążące),

- wszystkich niewiadomych: 5013, (el. or. zewn. = $286 \times 6 = 1716$, współrzędne punktów wiążących = $1099 \times 3 = 3297$)
- pomierzonych punktów na zdjęciach: 4458 (15.6 punktów/zdjęcie),
- ilość stopni swobody (Nobsrw – Nniew): 4026.

W wyniku wyrównania bloku otrzymano następujące dokładności:

- RMSE na zdjęciach: $V_x = \pm 7,0 \mu\text{m}$, $V_y = \pm 6,2 \mu\text{m}$, $V_{xy} = \pm 9,4 \mu\text{m}$
- RMSE na fotopunktach 3D: $V_X = \pm 0,160 \text{ m}$, $V_Y = \pm 0,207 \text{ m}$, $V_Z = \pm 0,359 \text{ m}$

Średnie odchylenie standardowe punktów wyznaczanych:

- $S_X = 0,186 \text{ m}$, $S_Y = 0,188 \text{ m}$, $S_Z = 0,578 \text{ m}$

Uzyskane wyniki aerotriangulacji dla tego bloku są bardzo dobre biorąc pod uwagę warunki wyboru i pomiaru punktów wiążących na koronach drzew. Proporcja błędu sytuacyjnego do wysokościowego jest poprawna, ponieważ stosunek bazowy jest równy 3.2 i tyle samo błąd wysokości jest większy od sytuacyjnego. W odniesieniu do mierzonych obrazów cyfrowych można stwierdzić, że średni błąd kwadratowy pomiaru punktu na zdjęciu nie przekracza ± 0.4 piksela.

Dla kontroli wyrównania aerotriangulacji wykorzystano „punkty kontrolowane”, tzn. fotopunkty, których współrzędne są wyznaczone w procesie aerotriangulacji, nie biorąc udziału w wyrównaniu bloku zdjęć. Wybrano 6 punktów kontrolowanych wewnątrz bloku zdjęć. Statystyka wyrównania bloku w tej nowej konfiguracji zmieniła się niewiele:

- RMSE na zdjęciach: $V_x = \pm 7,0 \mu\text{m}$, $V_y = \pm 6,2 \mu\text{m}$, $V_{xy} = \pm 9,3 \mu\text{m}$
- RMSE na fotopunktach 3D: $V_X = \pm 0,145 \text{ m}$, $V_Y = \pm 0,180 \text{ m}$, $V_Z = \pm 0,170 \text{ m}$

Średnie odchylenie standardowe punktów terenowych:

- $S_X = 0,192 \text{ m}$, $S_Y = 0,193 \text{ m}$, $S_Z = 0,620 \text{ m}$

Na punktach kontrolowanych uzyskano średni błąd RMSE: $V_x = \pm 0.406 \text{ m}$, $V_y = \pm 0.497 \text{ m}$, oraz $V_z = \pm 0.789 \text{ m}$. Nieco gorsze wyniki są oczywiste, natomiast uzyskana zgodność na sześciu punktach kontrolowanych wskazuje na bardzo dobrą geometrię obliczanego bloku, ponieważ nawet wyłączenie 15% fotopunktów z wyrównania nie wpływa znacząco na charakterystykę dokładnościową wyrównania aerotriangulacji.

IRREGULAR BLOCK OF WOODED MOUNTAINOUS AREA ARCHIVAL PHOTOGRAPHS AEROTRIANGULATION

S u m m a r y

The paper presents the technology used for aerotriangulation of the non-typical block of 286 photographs covering the area of Bieszczady's National Park (South-East Poland).

Tackled problems included:

1. out-of-date photographs (exposition date: 1994 year)
2. wooded and mountainous character of the land
3. irregular shape of the block.

KEY WORDS: aerotriangulation, photogrammetric control, digital photogrammetry

Recenzent: dr inż. Andrzej Wróbel, AGH Kraków